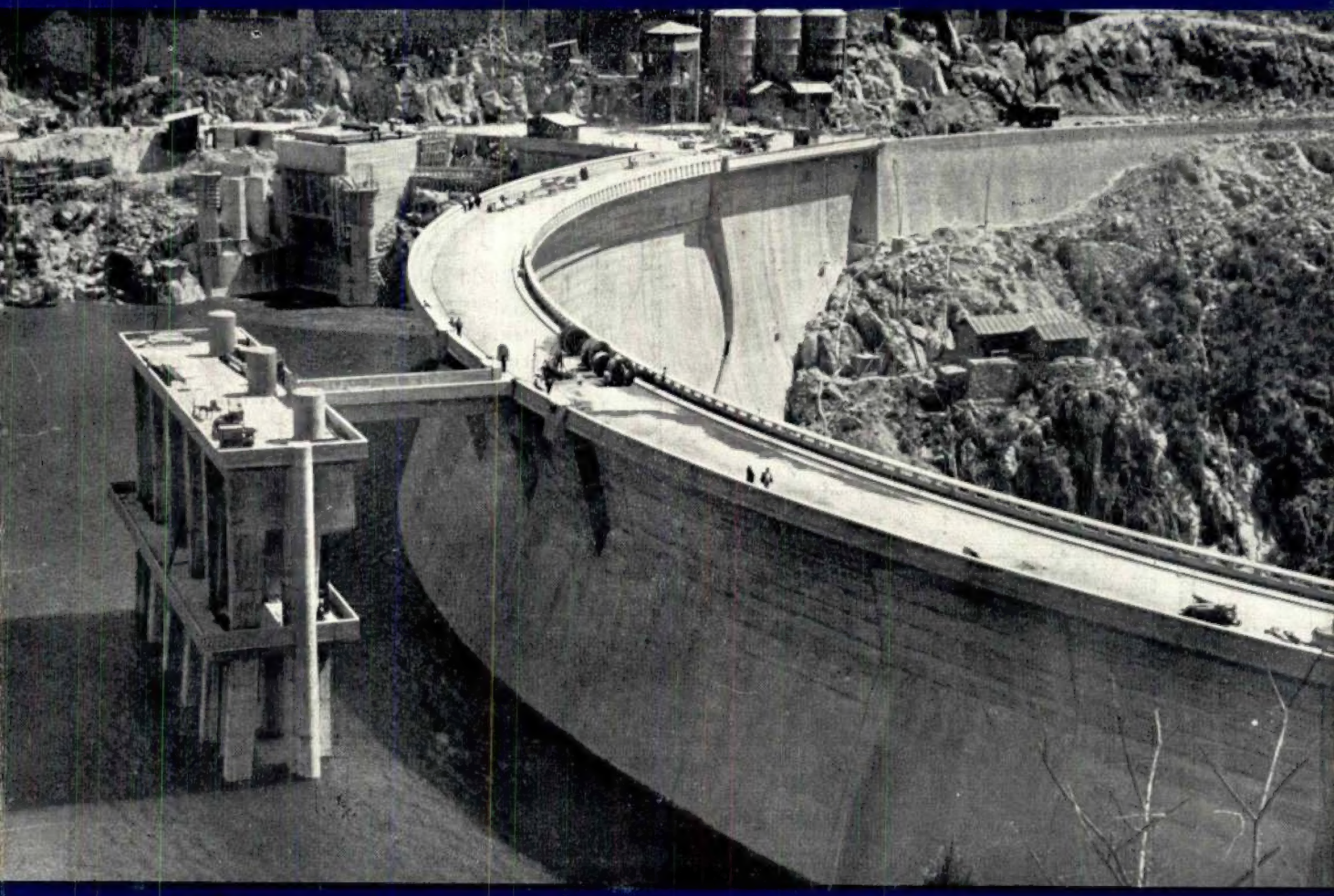
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 243 - JUNHO - 1954

CIMENTO SECIL

O CIMENTO PARA OBRAS DE GRANDE RESPONSABILIDADE

4 fornos rotativos — 300.000 toneladas anuais

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

Desde o Distrito de **VIANA DO CASTELO** ao de **LEIRIA** e nos Distritos de **SETÚBAL** e **EVORA** as

FÁBRICAS
CIDADES
VILAS e
ALDEIAS portuguesas

são abastecidas de

ELECTRICIDADE

para

FORÇA MOTRIZ E TODOS OS USOS INDUSTRIAIS, LUZ, ETC., a TARIFAS MUITO VANTAJOSAS e com as **maiores facilidades**,

pela

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

e produzidas nas CENTRAIS:

Thérmica do FREIXO	22.000 CV
Hidráulica do LINDOSO..	100.000 CV
Thérmica da CACHOFARRA...	14.000 CV

Os Escritórios da UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA são:

NO PORTO Rua Duque de Loulé, 240
EM LISBOA R. António Maria Cardoso, 13, 2.º

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia **"CIMENTO TEJO"**

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXIX - N.º 243 Junho de 1954

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 0144 (Linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MANUEL DA CRUZ MORAIS

ADMINISTRADOR
FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

SECRETARIO
VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA

CORPO REDACTORIAL
ANTÓNIO SEVERINO PINTO
CARLOS M. NOGUEIRA MARTINS
JOÃO PEDRO ANTUNES GOMES
LUIZ F. LUCENA FERREIRA

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	55$00	100$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Barragem do Cabril — Hidro Eléctrica do Zêzere

Pág.

O aproveitamento do Cabril
Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) Carvalho Xerez 515

Aços resistentes à corrosão
Pelo Eng.º Dipl. (I. S. T.) Vítor Pinto Pinheiro 529

O cálculo das construções para a acção dos sismos
Eng.ª Civil (I. S. T.) Maria Amélia F. Chaves e Eng.º Civil (I. S. T.) J. S. Brazão Farinha 545

O método de relaxação — Sua aplicação aos reticulados contínuos
Pelo Eng.º (U. P.) João Araújo Sobreira 559

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 586

Biblioteca 589

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SAO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 76061
PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ.
LISBOA

AMSLER

celebrou agora o seu

CENTENÁRIO

Desde o ano de 1854, em que
JAKOB AMSLER-LAFFON
inventou o PLANÍMETRO POLAR,
quatro gerações AMSLER
asseguram o progresso da firma

ALFRED J. AMSLER & Co.
SCHAFFHOUSE

na fabricação de

INSTRUMENTOS MATEMÁTICOS
PLANÍMETROS • INTEGRADORES

INSTRUMENTOS HIDROMÉTRICOS
MOLINETES • LIMNÍGRAFOS

MÁQUINAS PARA ENSAIO DE MATERIAIS

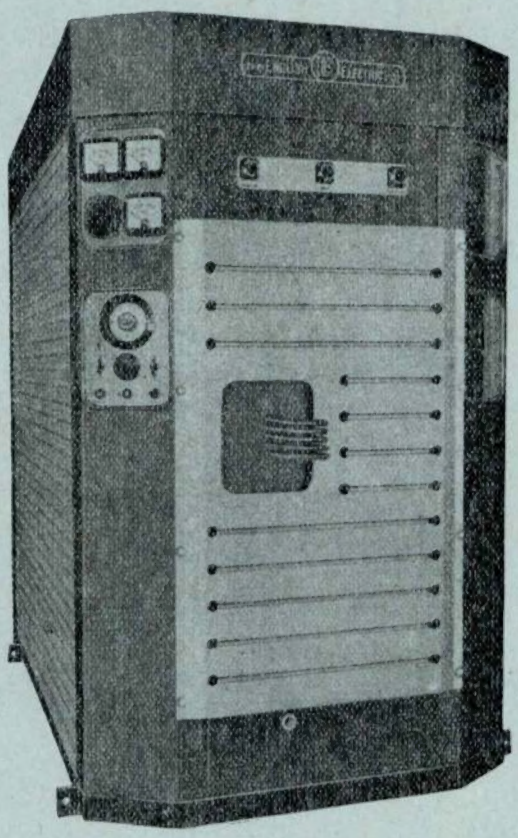
REPRESENTANTES EXCLUSIVOS
EM PORTUGAL E ULTRAMAR

PIMENTEL & CASQUILHO, LDA.

R. EUGÉNIO DOS SANTOS, 75 TEL. 24314/15 LISBOA

FORNOS DE INDUÇÃO ELECTRÓNICOS

'ENGLISH ELECTRIC'



A **"The English Electric Company Limited"** tem a honra de apresentar o novo forno de indução electrónico de 25 kW, para fins industriais, que reune, além de outras, as seguintes caracteristicas:

1. Longa duração
2. Máximo rendimento
3. Elevada produção
4. Espaço reduzido
5. Facilidade de acesso

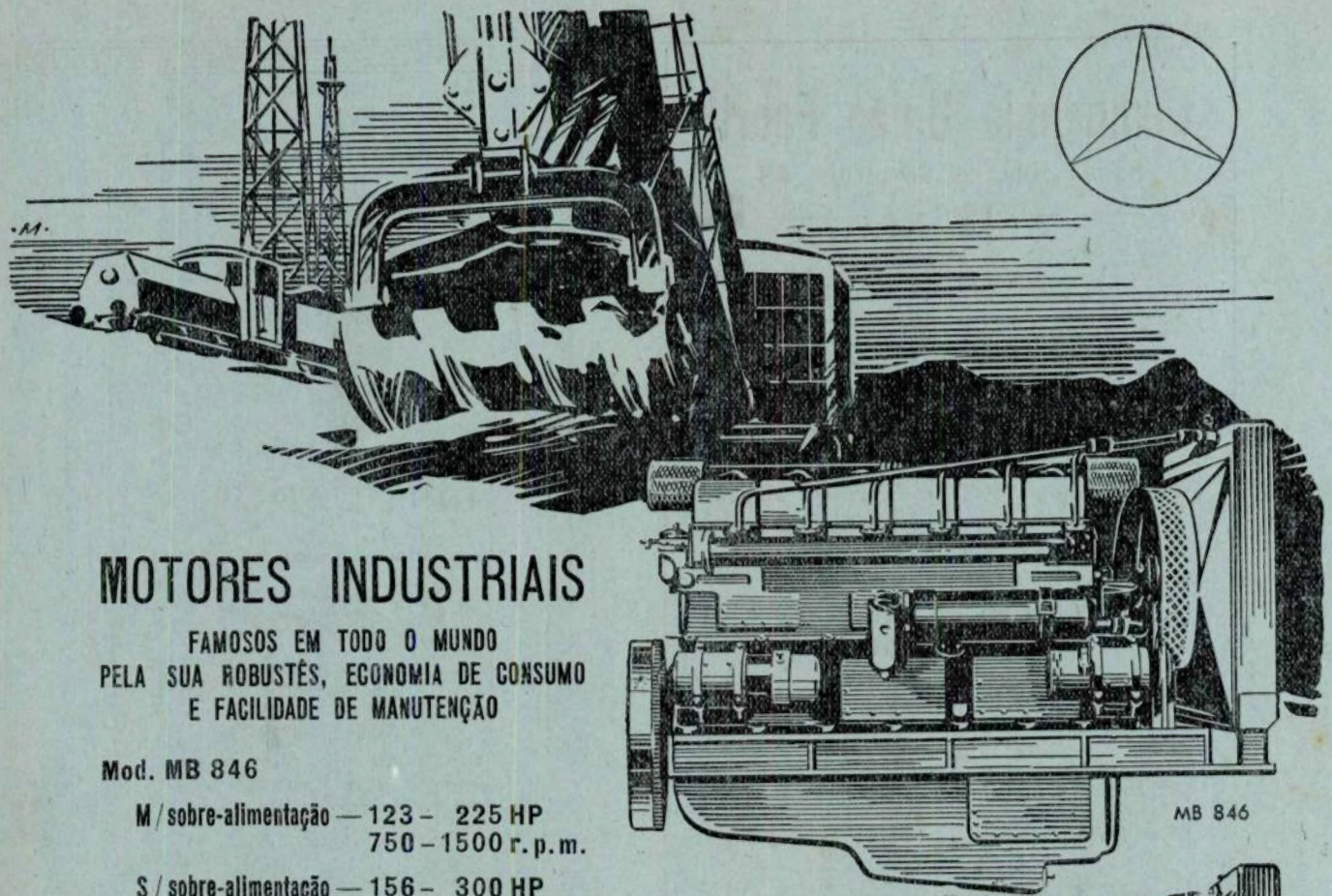
Representantes exclusivos para Portugal e África Ocidental Portuguesa:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

R. Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA
Telef. 37083

R. do Almada, 262, 1.º — PORTO
Telef. 25021

VILA FRANCA DE XIRA E LUANDA



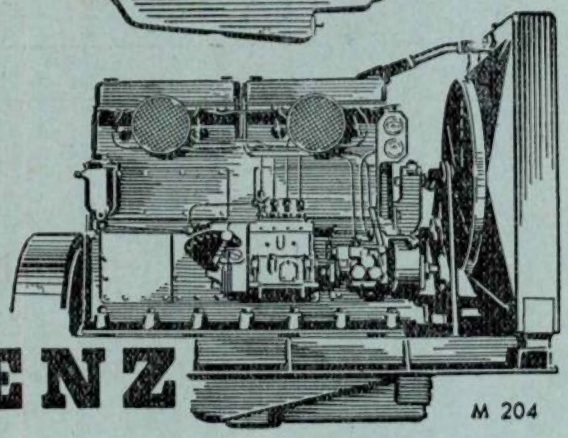
MOTORES INDUSTRIAIS

FAMOSOS EM TODO O MUNDO
PELA SUA ROBUSTÊS, ECONOMIA DE CONSUMO
E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO

MB 846

Mod. MB 846

M / sobre-alimentação	— 123 - 225 HP	750 - 1500 r.p.m.
S / sobre-alimentação	— 156 - 300 HP	750 - 1500 r.p.m.
Mod. M 204	— 55 - 110 HP	550 - 1200 r.p.m.
Mod. M 203	— 42 - 82 HP	550 - 1200 r.p.m.
Mod. M 202	— 28 - 55 HP	550 - 1200 r.p.m.



M 204

MERCEDES-BENZ

DIESEL

- Motores a 4 Tempos
- Arrefecimento por Água
- Antecâmara de Combustão

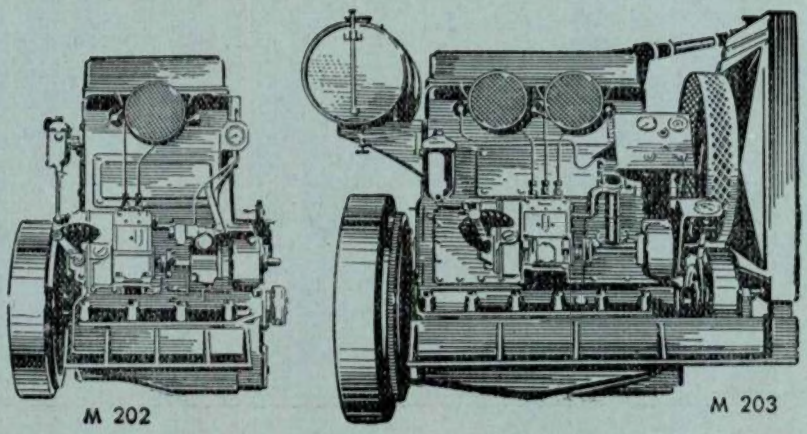
Para todas as aplicações industriais

Representantes

C. SANTOS LDA.

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

Trav. da Glória, 17 a 19-A
LISBOA



M 202 M 203

Companhia União Fabril

Sede: Rua do Comercio, 49

LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:

Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:

Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:

AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

DUPLICADORES

Manuais e eléctricos

Gestetner

OS MELHORES DO MUNDO

A GESTETNER, L.DA

RUA DA CONCEIÇÃO, 125 Telefone 2 2528 - LISBOA | LARGO DO PADRÃO, 20, 1.º Telefone 2 3469 - PORTO

A. J. GONÇALVES DE MORAES, L.DA

ESTABELECIDOS DESDE 1894

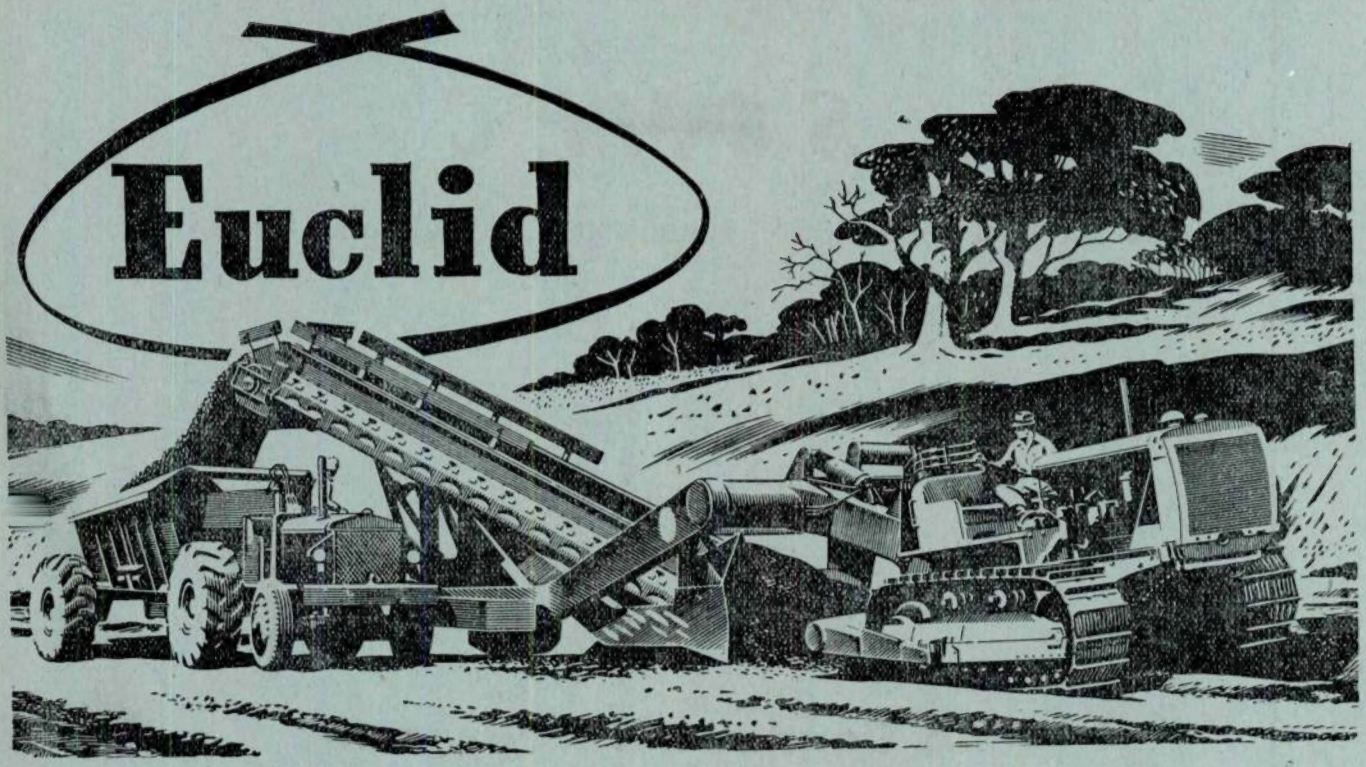
PORTO
R. Nova da Alfândega, 18
Tel. 27327 (6 linhas)

LISBOA
R. de S. Paulo 26 - 1.º
Tel. 34943 (5 linhas)

TRANSITÁRIOS DAS GRANDES EMPRESAS DO PAÍS

Tiveram a honra de transportar materiais e equipamentos para, entre outras, as seguintes Empresas:

HIDRO-ELÉCTRICA DO CÁVADO
HIDRO-ELÉCTRICA DO ZÊZERE
SACOR
SONAP
CUF
SOREFAME
COMPANHIA PORTUGUESA DE CELULOSE,
ETC., ETC.



CARREGADOR **EUCLID** E VAGÃO DE DESCARGA PELO FUNDO **EUCLID**

PRODUÇÃO DE 500 M³ DE ESCAVAÇÃO E CARREGAMENTO POR HORA

O CARREGADOR É COMANDADO SÓ PELO CONDUTOR DO TRACTOR

SÃO UNIDADES IDEAIS PARA A CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS, CAMINHOS DE FERRO, BARRAGENS NIVELAMENTOS DE CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS E EXPLORAÇÕES MINEIRAS A CEU ABERTO

PEÇA TODOS OS ESCLARECIMENTOS AOS DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS

BLACKWOOD HODGE

INGLATERRA, E.U.A., IRLANDA, BÉLGICA, FRANÇA, PORTUGAL, ESPANHA, ITÁLIA, ÁFRICA DO SUL, ÁFRICA ORIENTAL E OCIDENTAL INGLESAS, AS DUAS RODÉSIAS E NIASSALÂNDIA, CONGO BELGA, ANGOLA, MOÇAMBIQUE, SUDÃO, ÍNDIA, PAQUISTÃO, CEILÃO, BIRMÂNIA, AUSTRÁLIA.

Sociedade Metropolitana e Colonial de Construções, L.da

SOMEC

R. da Madalena, 163 — Lisboa Telefone 32795/6

Sondagens

Fundações

Betão armado

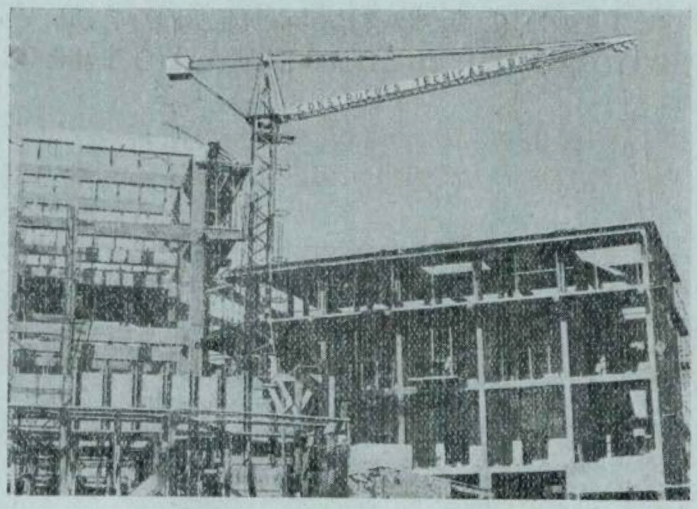
Trabalhos marítimos

Túneis

no Continente e Ultramar

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

Praça do Município, 13, 3.º — LISBOA — Telefone 2 2344



Edifício na Avenida Marginal de Luanda, para a Sociedade Geral de Comércio, Indústria e Transportes

FUNDAÇÕES

BETÃO ARMADO

OBRAS PÚBLICAS

DISJUNTORES dos tipos de 10 - 30 kV, de 250 — 1000 MVA

DISJUNTORES ORTOJECTORES

DE

QUALIDADE

SPRECHER ET SCHUH S.A.

AARAU — SUIÇA

Representantes

AZEVEDO & PESSI, L.DA

RUA NOVA DO ALMADA, 46 — LISBOA

Tels. 24495, 29879 e 20354

FÁBRICA DE PORCELANA DA VISTA ALEGRE, L.DA

Fundada em 1824

POR

José Ferreira Pinto Basto

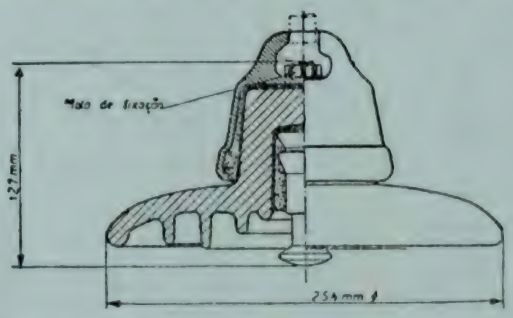
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

Peso aproximado:
4,3 kg cada elemento



Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Lisboa — Sede: Largo Barão de Quintela, 3
Depósitos: Lisboa — Largo do Chiado, 18

Fábrica em Ílhavo — Aveiro
Rua Cândido Reis, 118 — Porto

ARISTO

FAMOSAS
RÉGUAS DE CÁLCULO
FABRICO ALEMÃO

APRESENTA

A maior variedade de sistemas em modelos de bolso, escritório e de parede

As réguas de cálculo

ARISTO

são precisas, resistentes, práticas e modernas

Encontram-se à venda em Portugal nas principais casas da especialidade

Para obtenção de melhores resultados finais de medidas

— PARA UM TRABALHO —

mais simples, mais rápido, mais preciso e... menos árduo!

Numa grande variedade de modelos

DK 1 e DKM 1

DK 2, DKM 2, DKM 2-U, DKM 2-T e DKM 3

e os modelos Auto-Redutores

DK-RT, DKM-R e DK-R

Sempre em armazém para entrega imediata

REPRESENTANTES GERAIS PARA PORTUGAL

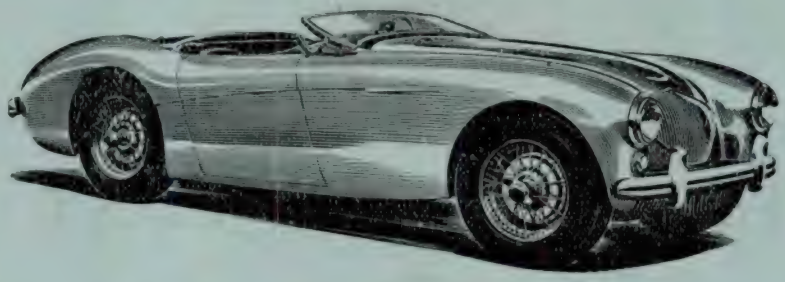
EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.ª, L.DA

CASA FUNDADA EM 1854

SEDE: Rua de Santo António, 137-145 — PORTO — Tel.: 20254/5

FILIAL: Rua de Antero do Quental, 17-1.º — LISBOA — Tel.: 53366

Austin Healey



Sucesso sem precedentes na indústria britânica de carros de desporto

Reune todas as condições exigidas para praticar com entusiasmo a difícil arte de conduzir bem e depressa

Distribuidores Gerais: J. J. GONÇALVES, SUCRS. — LISBOA — ÉVORA — PORTO

AGENTES EM TODOS OS DISTRITOS

MATERIAL ELÉCTRICO

para instalações de alta e baixa tensão

•

ESPECIALIDADES **GARDY:**

Corta-circuitos e cartuchos de alto poder de corte
Disjuntores para força motriz e iluminação
Disjuntores de calibres variáveis
Dinjuntores MINIHUILLE, até 35 kV
Dispositivos de corte em carga para seccionadores, etc.

REPRESENTANTE:

ANTÓNIO BARÓ

Rua da Assunção, 99-2.º-Dt.º

LISBOA

- Isolamentos térmicos, acústicos e contra fogo.
- Purgadores para vapor de todos os tipos.
- Válvulas de passagem para vapor.
- Válvulas reguladoras de temperatura de vapor, água e ar.
- Válvulas redutoras de pressão de vapor e água.
- Aparelhos de tratamento de água.
- Tubo metálico flexível em tombaque.
- Reguladores de combustão para caldeiras de aquecimento central.
- Cimentos e plásticos refractários.

Pedidos a:

BOUHON & IRMÃO, LTD.ª

Em Lisboa: Avenida Júlio Dinis, 26, r/c Esq.
Telef. 773603 e 778685

No Porto: Rua Antero de Quental, 615
Telef. 40124

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º

Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

RODIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Sócio gerente: **Walter Weyermann**-Eng. civil

ELECTRO-ARCO

LIMITADA

●

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

●

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA

LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 63649

PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.

OERLIKON

Máquinas e aparelhos eléctricos de todo o género

REPRESENTANTE GERAL PARA PORTUGAL E ULTRAMAR

P. BELLASI

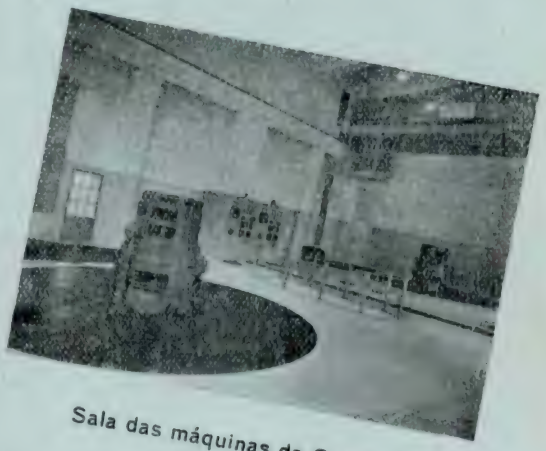
PORTO — Rua Sá da Bandeira, 494-3.° — Telefone 21968

Vista geral da BARRAGEM DE PRACANA

da

HIDRO-ELÉCTRICA ALTO ALENTEJO

Subestação 60 kV.



Sala das máquinas da Central

Potência instalada
2 x 10.500 CV

Equipamento eléctrico fornecido e instalado
pelos

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

ZURICH-OERLIKON (SUIÇA)

TÉCNICA

DIRECTOR — JOSÉ M. CRUZ MORAIS ADMINISTRADOR — FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA
SECRETÁRIO: VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA
CORPO REDACTORIAL — ANTÓNIO SEVERINO PINTO, CARLOS M. NOGUEIRA MARTINS, JOÃO PEDRO ANTUNES GOMES E LUIZ F. LUCENA FERREIRA

Ano XXIX - N.º 243 Junho de 1954

C. D. 627.82

O APROVEITAMENTO DO CABRIL

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) CARVALHO XEREZ

Fig. 1 — Vista de jusante do conjunto das obras, em Junho de 1954, com a central já em serviço, ligada à rede eléctrica nacional

Ao entrar em exploração o aproveitamento do Cabril, impõe-se dar conhecimento (1) ao País do que esta obra representa como esforço valioso dos técnicos portugueses, pois não é demais salientar que se trata de uma das maiores realizações da técnica nacional e que fica a marcar a época presente como particularmente notável na elevação do nível técnico da engenharia portuguesa.

Esta obra marca também a transição, no campo da engenharia nacional, entre a colaboração que nos foi dada por eminentes técnicos estrangeiros, e a total intervenção e responsabilidade dos técnicos portugueses na realização deste tipo de

(1) Está em preparação um artigo pormenorizado sobre o projecto e a execução das obras, limitando-se esta notícia a breves impressões gerais.

obras, mercê do muito que se aprendeu naquele primeiro período e da confiança que adquirimos em nós próprios. Este foi o bom método e ninguém se arrependerá, certamente, de o ter seguido.

Já é de todos sobejamente conhecido o interesse em criar reservas energéticas no País, através da realização de aproveitamentos com albufeiras capazes de dar uma importante contribuição à rede eléctrica nacional, no período de estiagem. O aproveitamento do Cabril é um dos mais valiosos neste aspecto, pois a sua albufeira com 600 milhões de m. c. de capacidade útil corresponde a uma reserva estival da ordem de 335 milhões de kWh, contando, evidentemente, com o aproveitamento da água através das centrais da Bouçã e do Castelo do Bode. Como a reserva estival em Castelo do Bode é de 165 milhões de kWh, a reserva total no sistema Zêzere eleva-se assim a 500 milhões de kWh (Fig. 2).

A realização dos trabalhos foi conduzida em prazo consideràvelmente curto e em condições de coordenação perfeita dos programas de construção civil e da montagem do equipamento, pois, iniciados os primeiros trabalhos da galeria de derivação provisória em Abril de 1951, foi possível pôr a central em serviço 3 anos depois e com um volume de água armazenado na albufeira correspondente a 70 % da energia total que é possível armazenar. Conseguiu-se assim evitar que durante o ano corrente seja necessário recorrer à produção de energia térmica, pelo menos até ao início do próximo ano hidrológico, cujas características condicionarão então o regime futuro de exploração.

A rápida execução das obras avalia-se bem pelo facto de 420.000 m. c. de betão (dos quais 370.000 na barragem) terem sido colocados durante 18 meses, de Junho de 1952 até fim de 1953, ao passo que em Castelo do Bode foram colocados 500.000 m. c. em 25 meses, o que, nessa altura, já foi considerado um grande esforço.

Para analisar as condições económicas de realização das obras, convém considerar o conjunto dos 3 escalões, visto que a reserva energética do Cabril só existe na sua totalidade após a entrada em serviço da Bouçã, que, esperamos, se verifique no prazo de dois anos, permitindo assim contar-se com a reserva global do sistema na estiagem de 1956. Como a despesa total a efectuar é da ordem de 1.300.000 contos, dos quais cerca de 40 % cabem ao escalão do Cabril, poderemos fàcilmente concluir que a reserva estival de 500 milhões de kWh é obtida em boas condições económicas, dado que estamos em presença da criação de reservas no curso inferior de um rio e em que as quedas são inteiramente obtidas à custa das alturas das barragens.

Fig. 2

O arranjo geral das obras

As obras do Cabril pertencem ao grupo designado por central pé de barragem, destinando-se

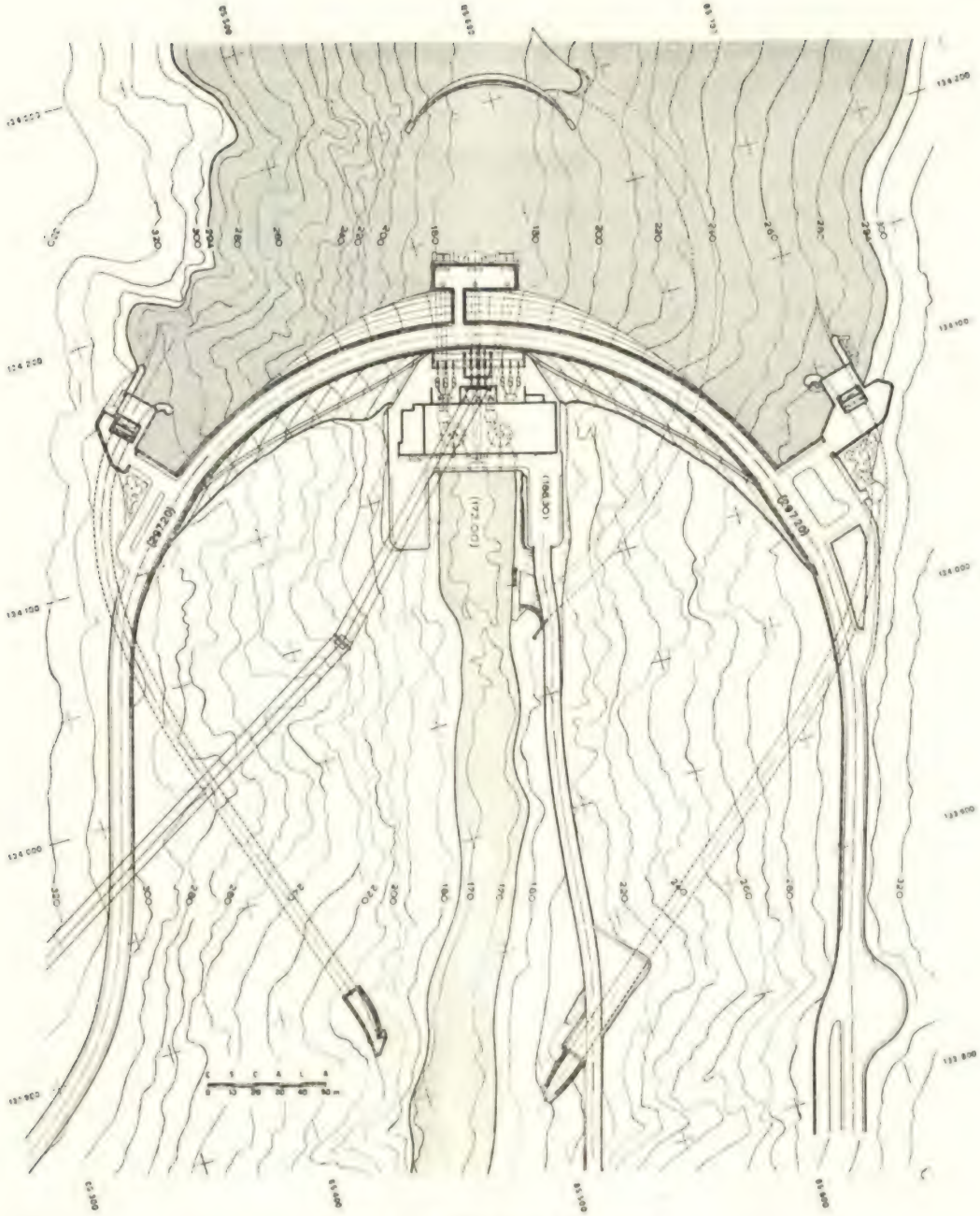


Fig. 3 — Planta geral das obras

Notar a independência entre os três principais órgãos do aproveitamento, a barragem, a central e o sistema de evacuação de cheias, e também a simetria do traçado da barragem e dos dois túneis

esta, simultâneamente, à criação da queda e da albufeira e em que, normalmente, existe o difícil problema de descarregar elevados caudais de cheia. No arranjo das obras nestes casos há que considerar, portanto, a existência de três órgãos de importância grande e equivalente, que são a barragem, a central e o sistema de evacuação de cheias.

Nesse arranjo verificam-se duas tendências distintas, consistindo a primeira em concentrar esses três órgãos tornando-os interdependentes e a segunda em os tornar completamente independentes. A primeira está representada pelos aproveitamentos franceses d'Aigle, Chastang e Bort com descarga das cheias sobre o conjunto barragem-central, existindo ainda uma solução intermédia em que a descarga se faz sobre a barragem, ficando a central independente, que é

o caso de Castelo do Bode. A segunda tendência, que foi a adoptada no Cabril (Fig. 3), merece a nossa especial preferência, visto que a independência dos órgãos traz consideráveis vantagens, desde a elaboração do projecto, à execução das obras, com possibilidade de adopção de prazos curtos, o que se traduz em nítidos benefícios de ordem financeira.

Foi assim que, além de outras variantes, também estudadas para efeitos comparativos, se optou pela solução de se traçar uma barragem abóbada cúpula de 132 metros de altura, inteiramente independente dos restantes órgãos, ficando a central logo a jusante e o mais perto possível da barragem e efectuando-se a evacuação das cheias por dois túneis situados, simètricamente, um em cada margem. As tomadas de água e a entrada da descarga de fundo estão agrupadas numa torre independente da barragem, atravessando as três condutas horizontalmente o soco (Fig. 4). O traçado dos túneis foi feito com inteira independência da galeria de derivação provisória situada na margem esquerda, sempre no sentido de evitar soluções interdependentes e certamente inconvenientes para obras com carácter definitivo e de grande importância, como são os órgãos de evacuação de cheias.

Terminadas as obras, podemos afirmar que não estamos arrependidos de ter adoptado este princípio de inteira independência entre todos os órgãos do aproveitamento, pois foi ele que nos deu a verdadeira possibilidade não só da execução das obras em prazo tão curto, mas também de se ter conseguido uma conveniente sequência de operações no programa de trabalhos, tendentes à obturação da galeria de derivação em época propícia ao armazenamento das águas da primavera. Esta mesma afirmação podemos também estendê-la ao aspecto financeiro, pois a independência entre as obras dá uma maior garantia da manutenção de orçamentos elaborados quando da preparação do projecto, conforme aqui nos foi dado observar.

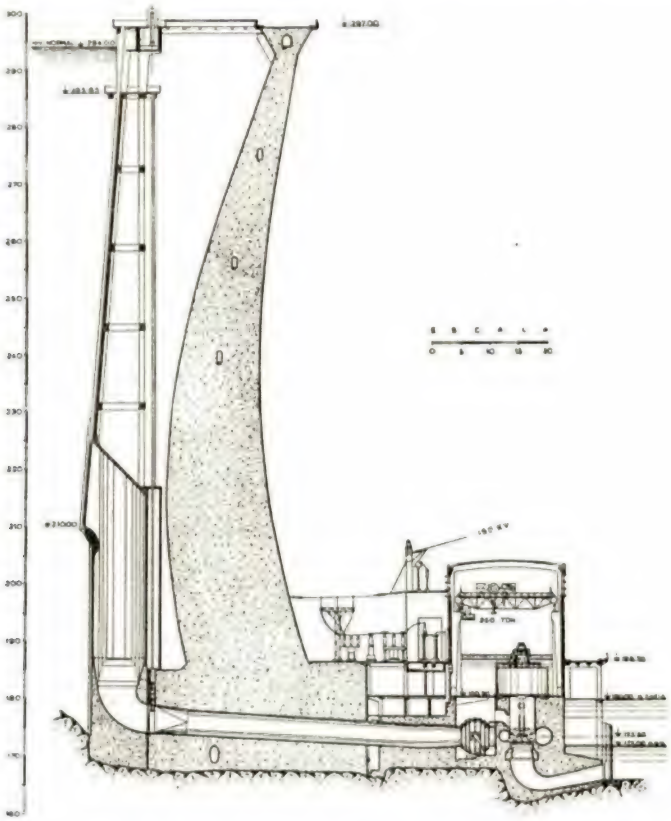


Fig. 4 — Corte pelo eixo do grupo

Notar a completa independência entre a barragem, a torre de tomada de água e a central, obtida através de juntas verticais no soco da barragem

A barragem

A barragem tem, neste aproveitamento, a dupla função de criar a albufeira e a queda, esta última obtida em parte à custa da capacidade morta da albufeira. É, portanto, um órgão do aproveitamento cujo custo representa uma impor-

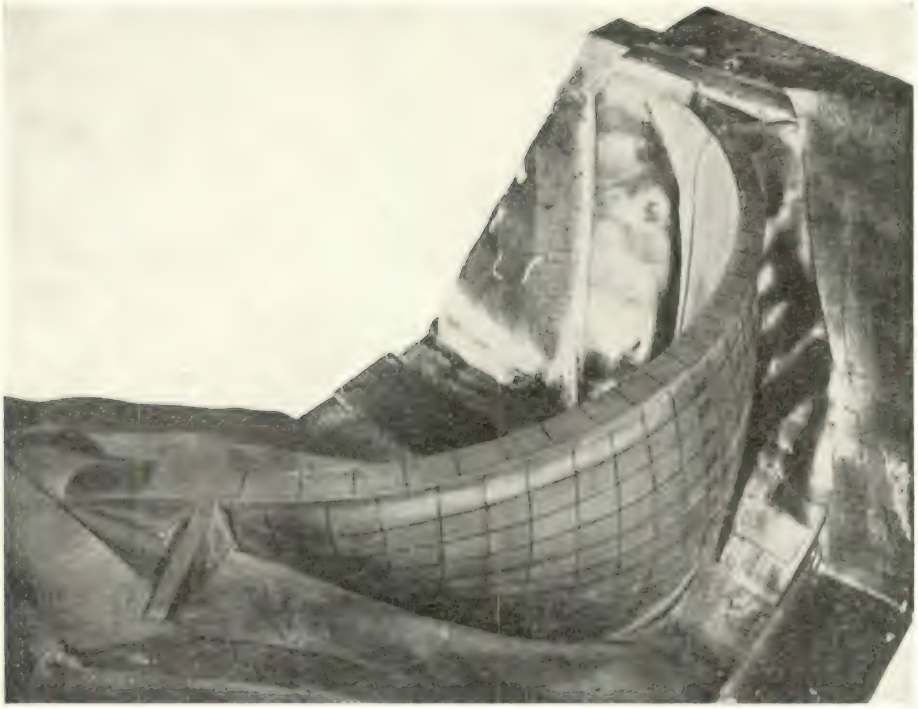


Fig. 5 — Modelo utilizado nos ensaios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

tante parcela do orçamento total dos trabalhos e daí a necessidade de se dedicar ao seu estudo um cuidado especial no sentido da redução do volume de betão a aplicar. Felizmente, estavam os técnicos portugueses em condições de o fazer, pela experiência adquirida em obras anteriores no contacto com eminentes consultores estrangeiros, pelo conhecimento que tomaram da técnica seguida em obras importantes estrangeiras, principalmente as italianas, pelo estudo dos métodos de cálculo mais perfeitos, e pela possibilidade de se poder contar com uma perfeita técnica de ensaios sobre modelo (Fig. 5) desenvolvida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Assim, foi possível elaborar o projecto de uma barragem cúpula de 132 metros de altura, cujas formas foram traçadas de modo a obter-se uma perfeita simetria da estrutura através de um soco e dos encontros na parte alta. Além disso, as formas são caracterizadas por uma completa con-

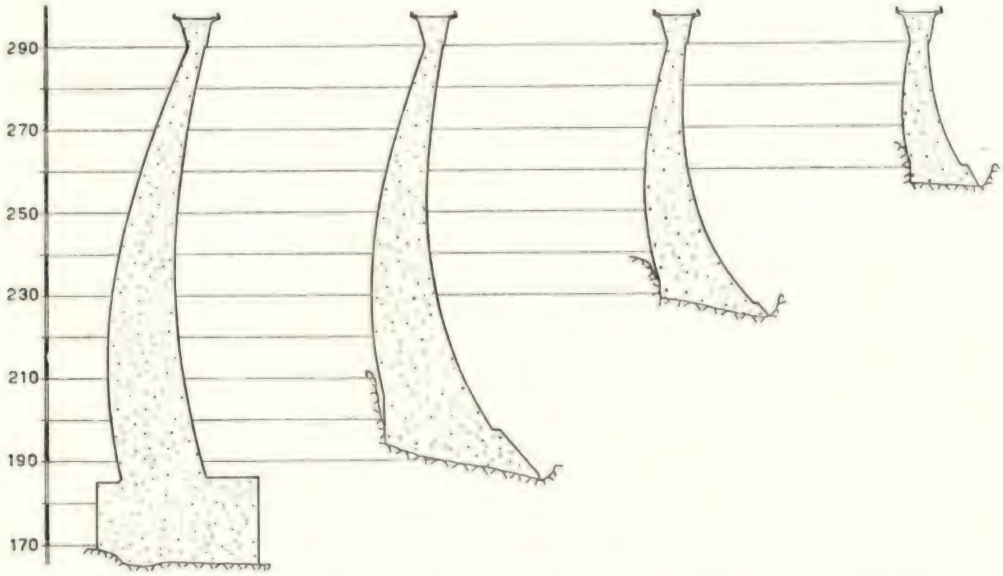


Fig. 6 — Secções radiais da barragem, entre o fecho da abóbada e o encontro

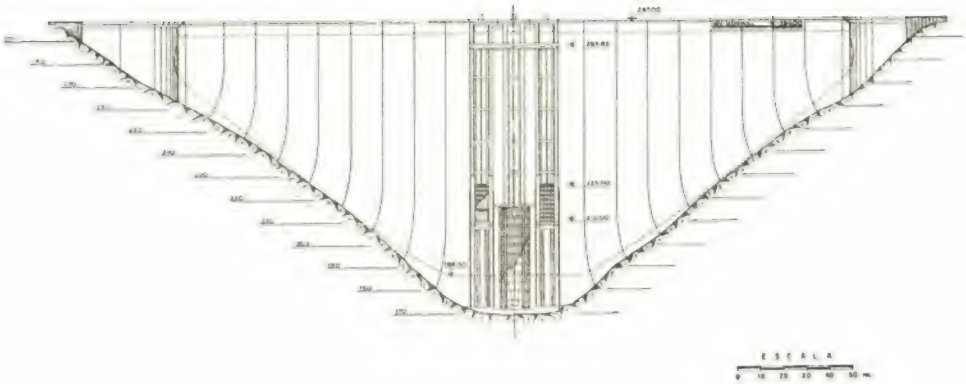


Fig. 7 — Alçado de montante

Observar a simetria da estrutura e o traçado especial das juntas na sua inserção no terreno

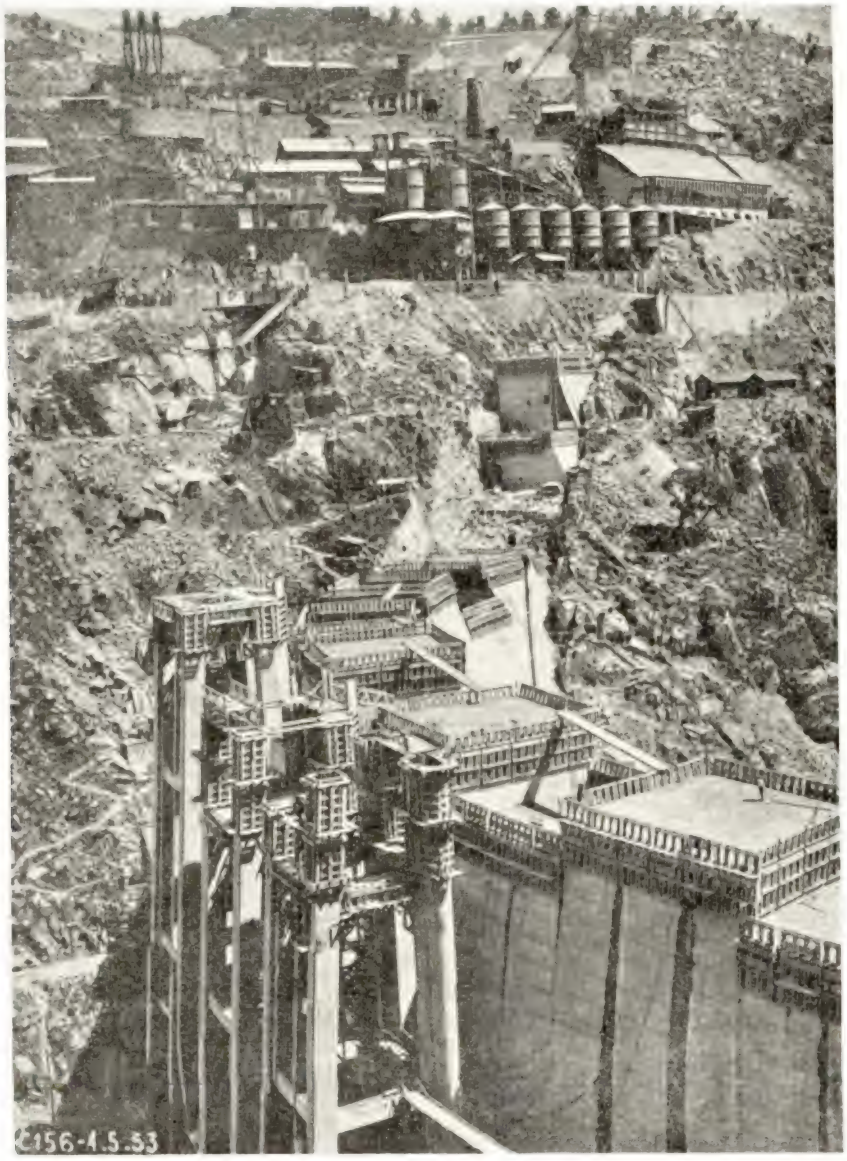


Fig. 8 — Vista das obras em construção e do equipamento de estaleiro

Notar a concentração dos vários órgãos do equipamento instalados ao longo da encosta

tinuidade, conseguida através de definições analíticas adequadas, e ainda pela curvatura das secções verticais (Fig. 6) no sentido de se reduzir, na medida do possível, as tensões verticais de tracção. As juntas de contracção — constituindo uma discontinuidade necessária durante a construção, mas que posteriormente terão de ser tratadas para assegurar o funcionamento da estrutura como um monólito — foram objecto de uma atenção especial, quer quanto ao seu traçado radial em planta e inserção no terreno (Fig. 7), quer quanto aos dispositivos de injecção de cimento para a referida transformação da estrutura num monólito. Cabe agora fazer referência ao facto de, antes da entrada em carga da barragem no mês de Fevereiro, se ter procedido a injecções de cimento nas juntas dos encontros e nas juntas exteriores da abóbada que nessa altura manifestavam uma sensível abertura; espera-se, após o esvaziamento total da albufeira, proceder até fim deste ano a uma observação geral do estado de abertura das juntas para se realizar o

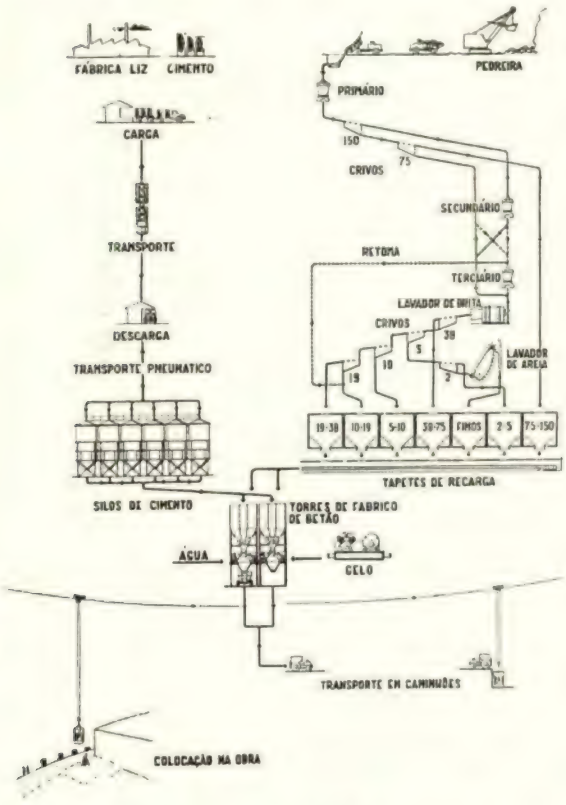


Fig. 9 — Esquema do fabrico de betão

Observar a simplicidade da instalação de britagem e moedura, com três máquinas apenas, do tipo giratório e capaz de produzir 200 t por hora de materiais inertes

respectivo enchimento antes da entrada em carga definitiva da barragem.

Como a organização dos estaleiros (Fig. 8) de construção das obras e a fabricação do betão estão fundamentalmente ligadas à realização da barragem é oportuno fazer a esse respeito umas breves referências. Para a produção do betão (Fig. 9), foram os materiais inertes, com a dimensão máxima de 150 mm, obtidos inteiramente de uma pedreira de granito, com o auxílio de uma instalação de britagem e moedura bastante simples, composta de três máquinas apenas, do tipo giratório; este conjunto produz 200 ton/hora de materiais, tendo-se realizado uma apertada verificação da granulometria da areia e da sua percentagem no total dos materiais, para o que se utilizou um crivo especial de barras destinado a separar a areia abaixo de 2 mm. Trabalhou-se com reduzidas percentagens de areia e com baixas relações água/cimento, graças à utilização de um produto introdutor de ar, o «Darex», tendo-se obtido resistências à compressão, determinadas no laboratório em cubos de 20 cm de aresta, da ordem de 300 kg/cm^2 aos 90 dias para a dosagem de 250 kg de cimento por m. c.. Esta dosagem foi reduzida nas zonas da barragem onde não são de esperar tensões elevadas, mas manteve-se na zona de montante a dosagem mais elevada. Aqueles resultados dos ensaios garantem-nos um coeficiente de segurança compreendido nos limites 4 a 5 para as máximas tensões de compressão devidas às solicitações da pressão hidrostática e do peso próprio.

O problema da elevação da temperatura da massa do betão não pôde ser combatido com o emprego de cimento especial, por não ter sido possível obter as características convenientes a esse tipo de cimento. Procurou-se, em compensação e durante o período de elevadas temperaturas ambientes, reduzir as temperaturas de colocação do betão com o emprego de gelo em substituição de parte da água de amassadura e também aumentar o intervalo de tempo entre as camadas de betonagem para valores de 7 dias.

As duas instalações de fabrico do betão eram do tipo torre com pesagem automática dos materiais e capazes de uma produção máxima horária de 120 m. c., e daí o betão era transportado por intermédio de camiões de caixa especial que o despejavam nos baldes das 4 gruas sobre cabos

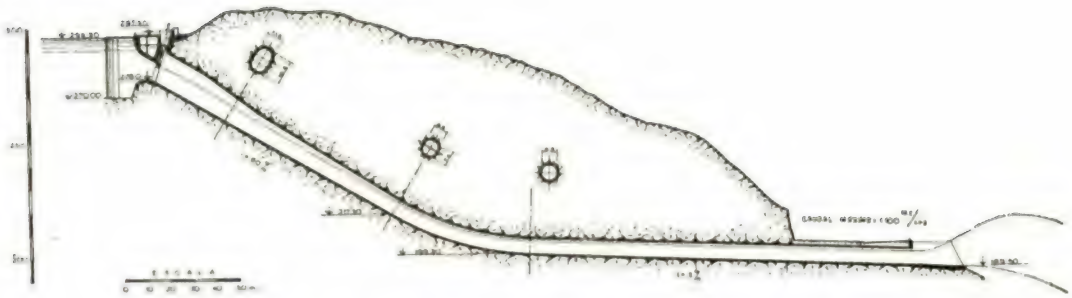


Fig. 10 — Perfil do túnel de evacuação de cheias da margem esquerda

Observar a entrada em orifício, munido de comporta Stoney de regulação do caudal descarregado

de 10 t destinadas à colocação do betão nos blocos. Atingiu-se uma produção máxima mensal de 30.000 m. c.

Os túneis de evacuação de cheias

Quando se fala no aproveitamento do Cabril vem sempre ao espírito, mesmo aos técnicos, a ideia da barragem como elemento dominante das obras e essa impressão é tanto mais natural quanto é certo que, numa visita ao local, é a barragem que dá a única nota visível da grandeza e responsabilidade das obras.

Não reagem do mesmo modo os técnicos responsáveis pelas obras, pois eles sabem que existem dois importantes túneis de evacuação de cheias, que pela sua situação subterrânea não chegam a impressionar o visitante, mas cujo projecto, nos seus vários aspectos de natureza hidráulica e de resistência, e também a respectiva construção apresentaram problemas de difícil solução e até mesmo mais delicados do que na própria barragem. Fica feita esta afirmação para que os técnicos possam dar a necessária importância àquelas obras subterrâneas.

O problema de evacuação de cheias, por órgãos independentes da barragem, consistiu em descarregar um caudal de 2.200 m. c./seg por dois túneis, um em cada margem e simétricos, vencendo um desnível da ordem de 100 metros, traçados de modo a passarem fora da zona interessada nas tensões transmitidas pela barragem ao terreno e com disposições construtivas nas saídas que orientassem os jactos segundo a direcção do leito do rio para que não sejam atacadas as encostas. Estes condicionamentos obrigaram a um traçado curvo em planta (Fig. 3) e em perfil (Fig. 10) e por isso se justifica que o problema se tenha revestido de grandes dificuldades, sendo oportuno salientar que não conhecemos qualquer solução em obra análoga onde se tivesse posto um problema deste tipo. As dificuldades especiais no nosso caso resultam de o vale na zona das obras ser em alinhamento recto e portanto há que desviar por túneis as águas de uma cheia com essa direcção de escoamento, para depois as lançar novamente no leito do rio segundo a mesma direcção.

Compreende-se, pois, que a resolução de um problema hidráulico desta natureza só pudesse ter sido conseguida após exaustivos ensaios sobre modelo, que acompanharam «pari e passu» todos os trabalhos de elaboração do projecto, mantendo-se o modelo sempre em franca evolução de modo a se obterem as soluções mais económicas no que se refere à sua adaptação à topografia do terreno e consequentemente às estruturas exteriores das entradas e das saídas.

A primeira dificuldade que se encontrou foi a entrada, em face da direcção do troço inicial dos túneis para poderem contornar a barragem. Depois de se ensaiarem soluções de variados tipos, conseguiu-se estabelecer uma entrada de frente, em orifício, de 8,90 m de largura por 8,10 m de altura, munida de comporta Stoney. Nos estudos iniciais dos muros guias (Fig. 11) verificou-se a existência de apreciáveis gradiantes de pressão entre as duas faces, em consequência da forte curvatura dos filetes líquidos em planta, o que obrigava a considerar no projecto desses muros importantes efeitos de flexão. No decurso dos ensaios para redução destes efeitos, surgiu a solução original de estabelecer aberturas nos muros (Fig. 12 e 13), o que não afectava a função destes como guia do escoamento, conforme foi provado nos ensaios, e permitia, evidentemente, diminuir

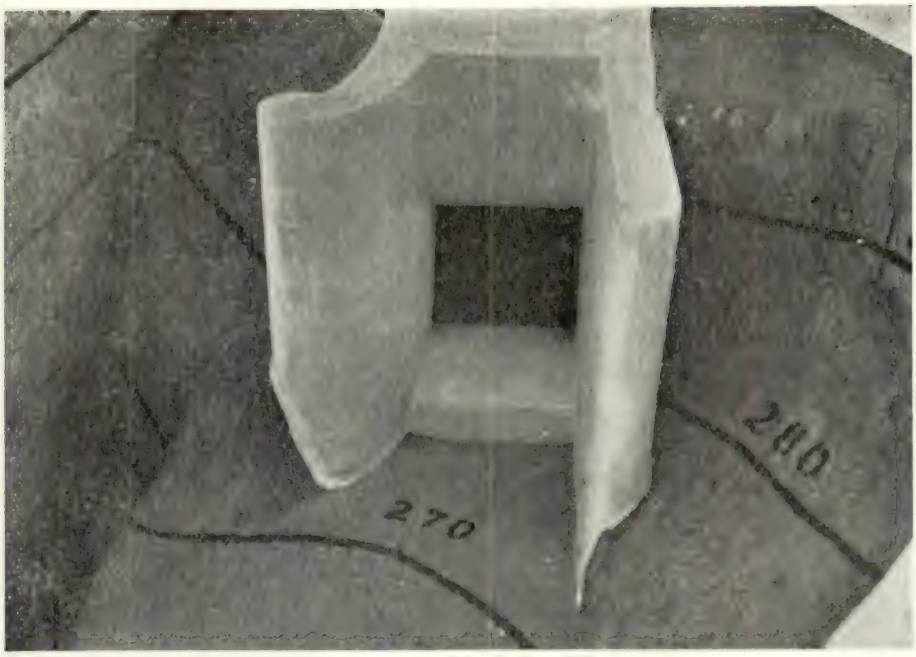


Fig. 11 — Modelo da entrada do túnel da margem direita durante a primeira fase dos ensaios hidráulicos

a superfície sujeita ao referido gradiante de pressão.

A curvatura dos túneis no espaço e o dimensionamento da secção transversal, particularmente a lei de variação das suas dimensões no troço inicial inclinado a 60 %, foram estabelecidas de modo a evitar oscilações da massa da água no troço final, que viessem a prejudicar a estabilidade do escoamento à saída, necessária a uma perfeita restituição da água ao leito do rio. Houve o cuidado de ter em conta as consequências da emulsão de ar no protótipo, que poderá originar uma entrada em carga no troço final, exigindo um perfeito arejamento por montante e daí o desenvolvimento em altura dado à secção do troço inicial.

O estabelecimento das formas das saídas (Figs. 14 e 15) dos túneis foi objecto de estudos mais demorados, pois houve que desenvolver os jactos em altura para melhor os manejar e orientar se-

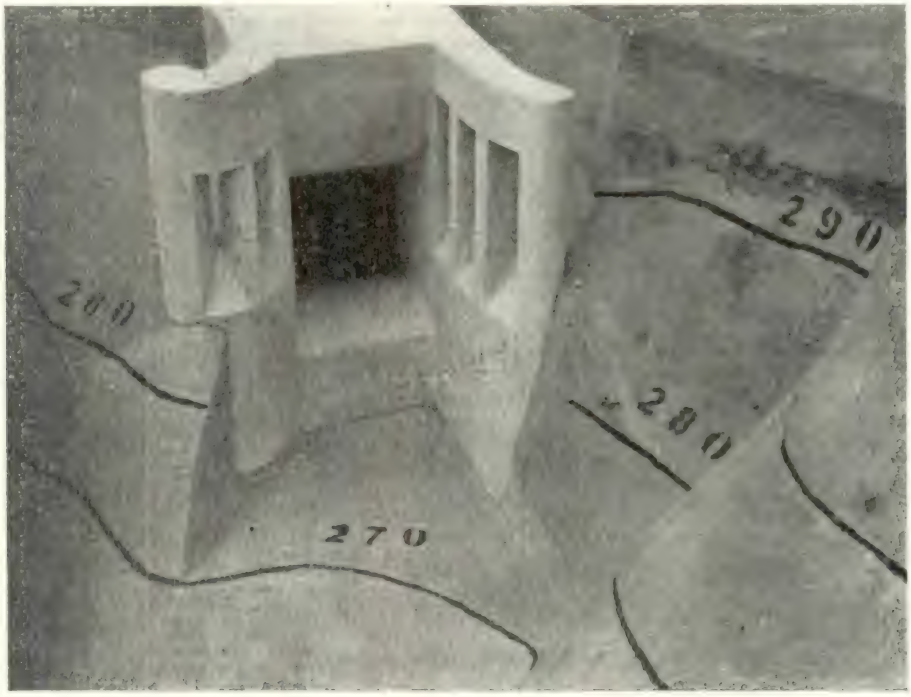


Fig. 12 — Modelo da entrada do túnel da margem direita, na fase final dos ensaios, depois de terem sido estabelecidas aberturas nos muros

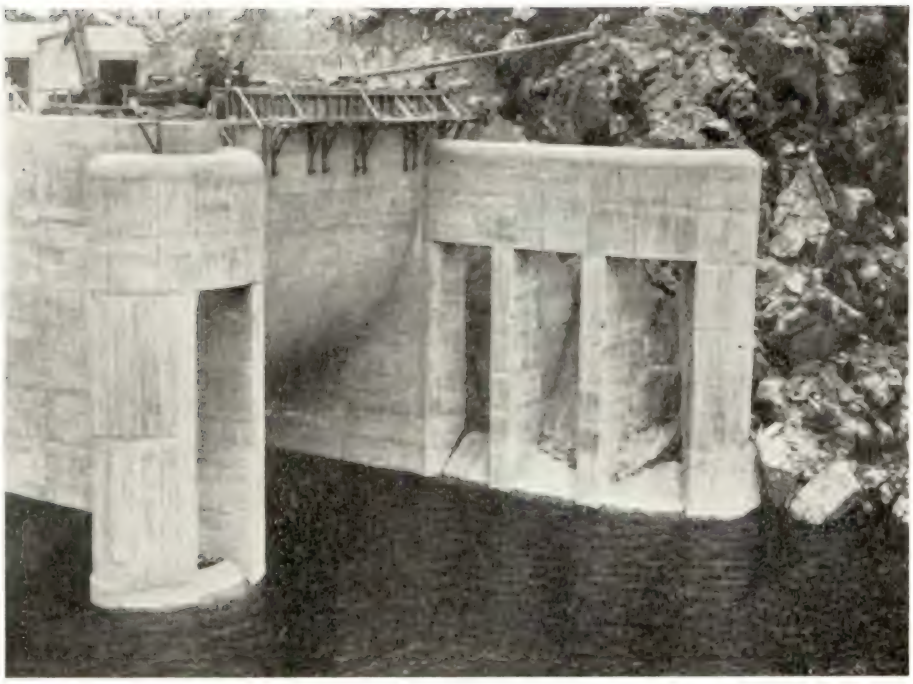


Fig. 13 — Entrada do túnel da margem direita

Notar a simplicidade das estruturas dos muros das entradas, conseguida após ensaios sobre modelo reduzido

gundo a direcção mais conveniente, o que obrigou a muros de elevada altura e submetidos a fortes pressões. Dada a extrema sensibilidade das formas dos muros à pressão da água, em consequência das elevadas velocidades de escoamento, procurou-se conduzir os estudos de modo a obter-se um diagrama de pressões em toda a superfície dos muros que désse origem aos menores efeitos de flexão possíveis.

Experiências recentemente realizadas com o túnel esquerdo (Fig. 16), embora com o nível da albufeira abaixo do máximo e para uma pequena abertura da comporta, mostraram uma razoável semelhança com o modelo, àparte a maior emulsão de ar já esperada para o protótipo.

A execução dos túneis, além das conhecidas dificuldades inerentes à natureza do trabalho, foram aqui agravadas pela inclinação do troço

Fig. 14 — Modelo das saídas dos túneis

Observar a forma dos jactos, desenvolvidos em altura, de maneira a lançá-los no leito do rio sem ataque das margens

Fig. 15—Saídas dos túneis vistas de montante

inicial e pela variação da sua secção, além das exigências na qualidade do betão e no acabamento das superfícies do revestimento. Na verdade, as elevadas velocidades da água no troço de jusante, com valores da ordem de 35/40 metros por segundo, exigem que o betão tenha grande resistência à erosão — que é proporcional à resistência à compressão — e além disso que não existam imperfeições da superfície provocando perigosos efeitos de cavitação.

A colocação do betão no revestimento foi feita, em parte, por método pneumático, adoptando-se para isso granulometrias especiais e dosagens da ordem de 300/350 kg de cimento por m. c., de modo a, sem prejudicar os valores das resistências, se obterem boas condições de transporte. Como trabalho complementar, estão a realizar-se as injecções de cimento para consolidação da zona de rocha envolvente e preenchimento dos vazios entre o revestimento e a rocha.

As tomadas de água e a central

Dentro do princípio atrás referido de completa independência entre as obras, embora procurando a sua concentração, situou-se a central logo a jusante da barragem e aproveitou-se o espaço compreendido entre ela e a barragem para a

Fig. 16 — Túnel esquerdo em funcionamento

Observar a grande emulsão de ar que não se verifica no modelo

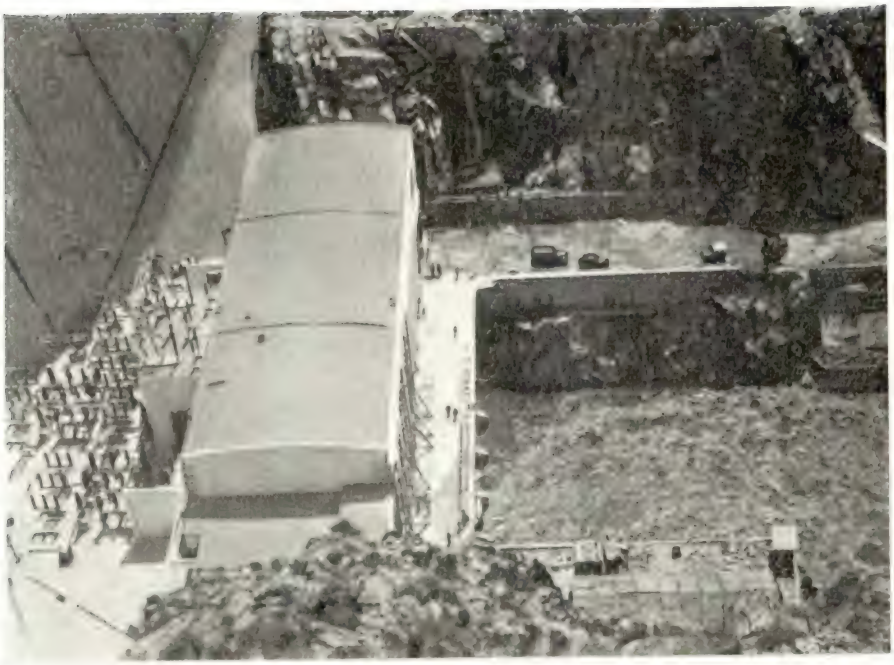


Fig. 17 — Vista da central e do equipamento situado entre esta e o paramento de jusante da barragem

instalação dos transformadores, aparelhagem de protecção e corte de alta tensão e saída da linha de 150 kV, que liga esta central à subestação do Zêzere, em Castelo do Bode. Conseguiu-se assim um arranjo particularmente feliz (Fig. 17) para aproveitamento do espaço criado pela forma curva da barragem e deu-se à exploração boas condições para o serviço, pela proximidade de todo o equipamento desde o grupo gerador à saída da linha.

Em relação às tomadas de água, optou-se pela solução de as instalar numa torre inteiramente independente da barragem por intermédio de uma junta, o que trouxe as conhecidas vantagens de se poder estabelecer um traçado para a barragem sem qualquer condicionamento e também, no aspecto construtivo, de ter sido possível construir a torre em avanço sobre os blocos da barragem (Fig. 18), facilitando deste modo a montagem antecipada das comportas e respectivos órgãos de manobra para integral cumprimento do programa de enchimento da albufeira. Terminadas as obras, estamos em condições de afirmar que as referidas vantagens se mostraram

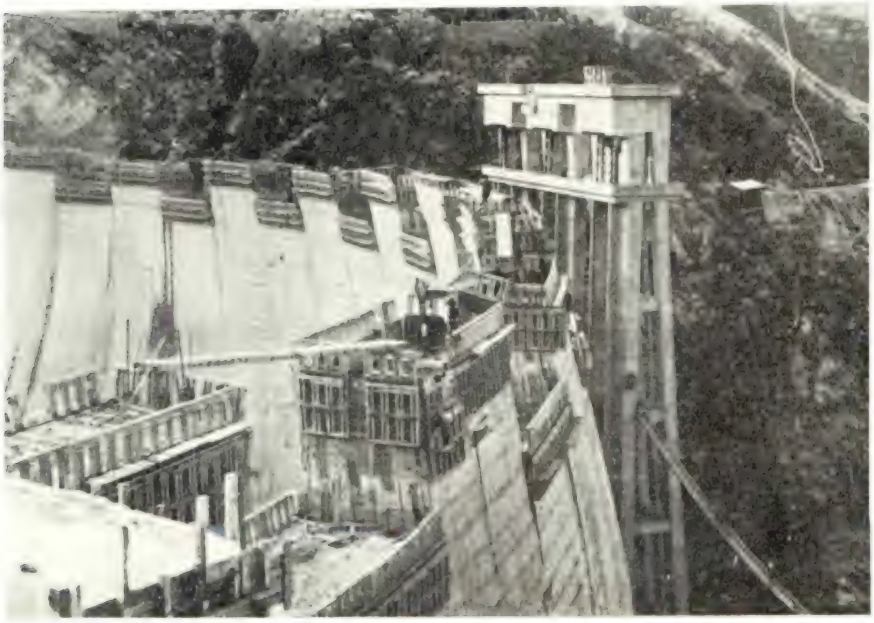


Fig. 18 — Esta fotografia mostra que a torre de tomada, estava, em Setembro de 1953, em condições de permitir a montagem das comportas, nessa altura em curso, embora a barragem não estivesse terminada

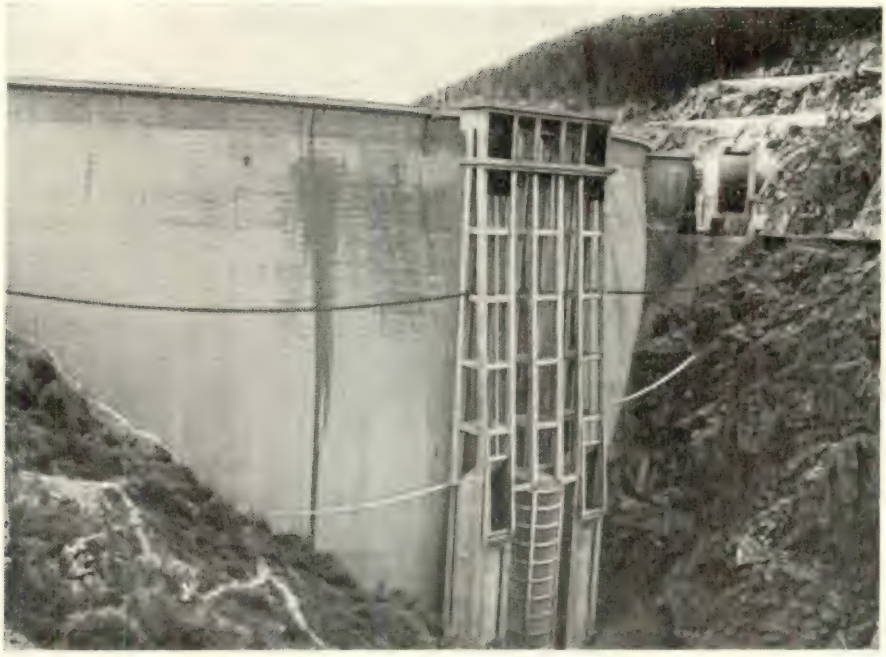


Fig. 19 — Vista do paramento de montante da barragem e da torre das tomadas de água

Na torre está também instalada a entrada da descarga de fundo com a grade grossa de betão armado. Junto ao encontro direito da barragem vê-se a entrada do túnel de evacuação de cheias

inteiramente justificadas, pois só assim se conseguiu, sem improvisações, estar em condições de ter procedido na devida altura à obturação da galeria de derivação.

Desejamos chamar a atenção para o facto de a torre, como estrutura de betão armado de 130 metros de altura, constituir uma obra que, em si própria, comporta importantes estudos de projecto e obrigou a adoptar especiais disposições construtivas, embora tudo isso possa passar despercebido perante a grandeza das restantes partes do aproveitamento.

A torre (Fig. 19) compreende as duas tomadas de água para cada grupo e entre elas está instalada a entrada da descarga de fundo, de modo que a parte inferior, com 50 metros de altura, engloba as tomadas pròpriamente ditas com a sua grade metálica fina e a grade de betão armado

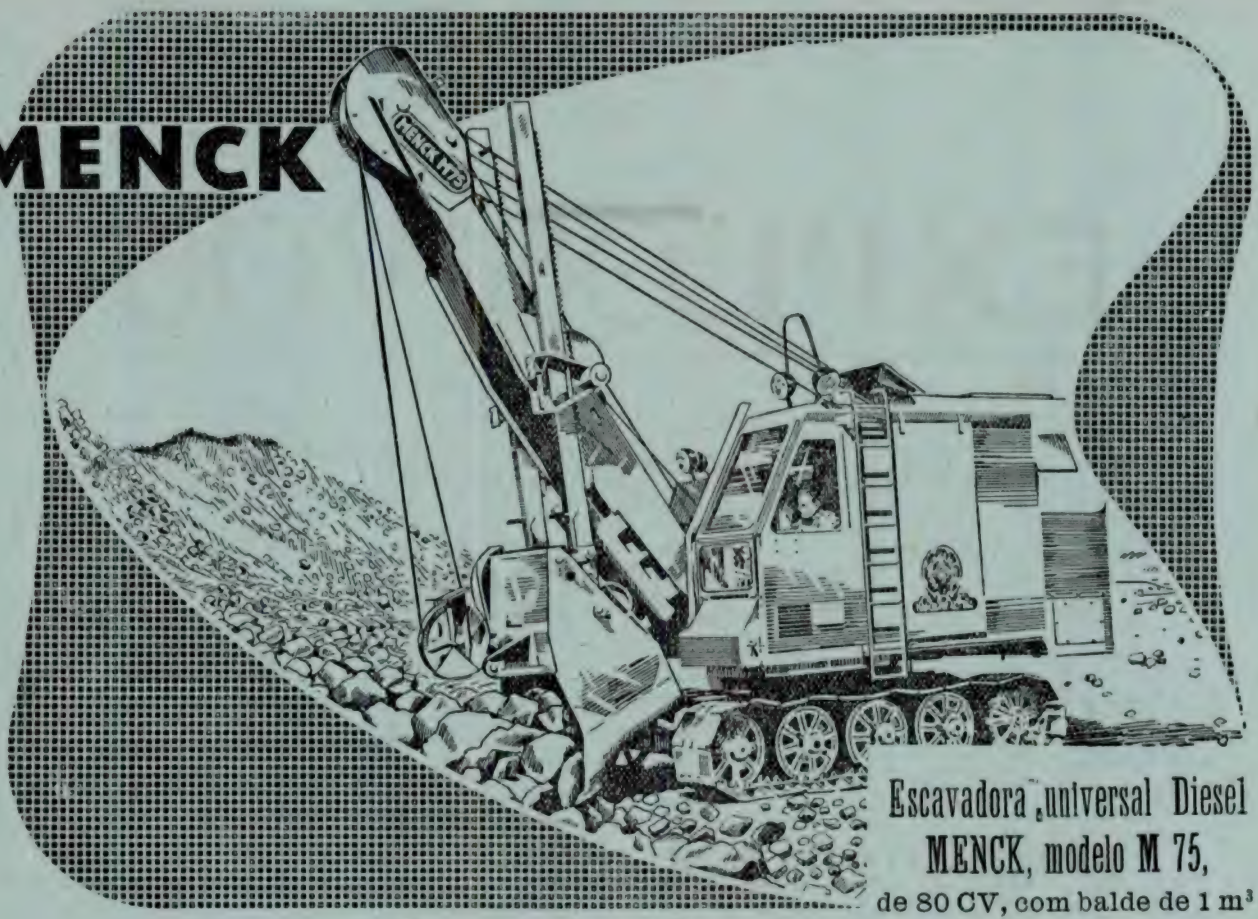
Fig. 20 — Vista da parte superior da torre das tomadas de água onde estão instalados os órgãos de manobra das comportas

da entrada da descarga. A parte superior da torre é uma estrutura reticulada, que suporta no seu topo (Fig. 20), acima do nível da água, os órgãos de manobra das comportas e das grades finas; as 3 comportas aí montadas, duas das quais já foram manobradas com pleno êxito submetidas a pressão de serviço muito próxima do máximo, são do tipo lagarta com características de funcionamento que as permitem classificar entre as mais importantes até agora fabricadas em todo o mundo. Foi este facto que nos levou a considerar que não seria prudente, neste caso, dispensar as válvulas esféricas de protecção das turbinas.

O primeiro grupo de 70.000 CV entrou em funcionamento na segunda quinzena de Maio, esperando-se que o segundo grupo, de igual potência, entre em serviço durante o mês de Setembro, ficando assim o sistema Cabril — Castelo do Bode com uma potência total instalada de 5 grupos de 70.000 CV.

Para terminar, diremos que a entrada em carga da barragem até ao nível máximo atingido (10 metros abaixo do máximo previsto) foi acompanhada com o maior cuidado, através da medição de deslocamentos de pontos do paramento de jusante, determinados por intersecção directa com observações geodésicas feitas de dois pontos considerados fixos nas duas margens, de modo a obterem-se assim as curvas de deformação dos elementos resistentes principais da estrutura. Foram também seguidas as indicações dos aparelhos medidores da abertura das juntas, as dos extensómetros instalados em todo o corpo da barragem e de termómetros que nos deram conta da marcha da dissipação do calor desenvolvido na altura da betonagem. Durante a descida do nível da albufeira far-se-á idêntico trabalho, de modo a ficarmos com elementos estatísticos de interesse pare se acompanhar a próxima entrada em carga definitiva.

Junho de 1954.



Escavadora universal Diesel
MENCK, modelo M 75,
de 80 CV, com balde de 1 m³

Representantes em Portugal:

Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, L.da
PORTO — Praça da Liberdade, 114

Eng.º J. E. Michaëlis de Vasconcellos
LISBOA — R. Fialho de Almeida, 1

SKF

ROLAMENTOS
CHUMACEIRAS

LISBOA PRAÇA DA ALEGRIA 66-A Telef. 33995 - 34223
PORTO AV. DOS ALIADOS 150—152 Telef. 29776 - 29777

EXPLOSIVOS

FABRICO CONTÍNUO DE 300 Kg/h DE

NITROGLICERINA

ACESSÓRIOS PARA

TODOS OS PROCESSOS

DE DETONAÇÃO

ACIDO AZÓTICO

Sociedade Portuguesa de Explosivos, L.da

RUA DOS FANQUEIROS, 44-1.º

LISBOA

C. D. 669.14/5].018:
:620.19

AÇOS RESISTENTES À CORROSÃO

1 — CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES

PELO ENG.º DIPL. (I. S. T.) VÍTOR PINTO PINHEIRO
Assistente do I. S. T.

Talvez se possa dizer que o problema da corrosão tem aumentado de importância na razão directa em que se têm verificado os maiores progressos nas indústrias químicas e na indústria dos transportes.

Com efeito, transportar mais longe e mais depressa por menor preço, satisfazendo um volume de tráfico que não cessa de aumentar, exige que os materiais empregados apresentem valores mais elevados das suas propriedades mecânicas e que os mesmos se mantenham, tanto quanto possível, a temperaturas elevadas.

Nas indústrias químicas o aumento das capacidades de produção, o emprego de técnicas caracterizadas por melhores rendimentos e a produção industrial de novas substâncias de síntese, modifica as condições fabris no sentido de empregar temperaturas e pressões mais elevadas e reagentes mais agressivos.

A escala maior da moderna indústria também não é indiferente sob o ponto de vista da corrosão; empregam-se aparelhos maiores porque é preciso ocorrer a maiores solicitações de produção ou de carga e não é a mesma coisa a substituição de uma unidade pequena ou grande.

A concorrência comercial e o desejo de produzir mais barato como ajuda à economia dos povos requer cada vez maior duração dos materiais para que a sua amortização seja mínima.

*

Evans põe em evidência o factor humano deste problema. Perante o desgaste causado pela corrosão, muitas vezes o técnico não pode reagir por falta de material adequado ou porque o mecanismo do fenómeno não está bem determinado; em muitos casos há uma ansiedade latente àcerca das possíveis manifestações não previsíveis da corrosão: uma máquina pode ser arruinada completamente porque a resistência de uma das suas peças falhou em virtude de uma pequena ofensa local de natureza corrosiva.

O aspecto económico é também da maior importância porque uma grande parte de toda a produção mundial de metais se destina a substituir materiais que a corrosão degradou.

De facto, sob este aspecto pode dizer-se que os metais e ligas metálicas, corroendo-se, tendem a reverter ao seu estado inicial de combinações químicas com elementos não metálicos — óxidos, sulfuretos e sulfatos, cloretos, etc. Há um enorme desperdício de energia envolvido nesta substituição de materiais degradados, a qual, apesar disso, não constitui a maior parcela no balanço dos prejuízos totais resultantes do fenómeno.

A corrosão é nociva pela perda de peso que origina nos materiais metálicos, e muito especialmente na medida em que diminui a resistência mecânica das peças. Por outro lado, sendo primordialmente uma função da superfície de exposição, os fenómenos corrosivos aumentam na medida em que a aplicação de materiais mais resistentes permite melhorar o valor da relação superfície : volume.

Certas formas de corrosão não acarretam diminuição de peso, antes o aumentam, não prejudicam o aspecto dos materiais e, no entanto, são as mais severas e perigosas; inutilizam o todo porque falseiam completamente o valor das propriedades mecânicas características do material (corrosão intercristalina).

Em muitas indústrias químicas requere-se uma perfeita resistência dos materiais empregados na aparelhagem, quando os produtos da corrosão possam contaminar as substâncias a fabricar;

são exemplos correntes a maior parte das indústrias que fabricam produtos alimentares ou farmacêuticos.

*

A boa consciência da importância técnica e económica do problema e da necessidade de debelar os seus efeitos criou em todos os países industriais numerosas instituições cuja actividade se reparte pelos aspectos mais importantes dos fenómenos corrosivos, entre os quais se cita:

— determinação das condições de corrosão dos diferentes materiais; influência relativa de diferentes factores.
— normalização das condições de emprego dos metais e ligas.
— produção de novos materiais resistentes a certos factores de corrosão.
— estudo dos meios de protecção dos metais e ligas em diferentes condições de serviço.

O estudo teórico dos fenómenos corrosivos na sua generalidade tem grande interesse, como é evidente; no entanto, diz-nos a experiência que o grande número de factores que podem interferir num processo de corrosão (muitos dos quais são de efeitos desconhecidos ou mal conhecidos) impede muitas vezes a determinação apriorística do comportamento de um material em dadas condições de trabalho.

Por outro lado, a lentidão dos fenómenos não ajuda a recolha de bagagem estatística que permita por uma análise sistemática formular conclusões generalizáveis sobre muitos dos factores que se sabe intervenientes no fenómeno.

Ficam assim prejudicados os ensaios laboratoriais de resultados reprodutivos e seguros que interessaria poder tornar extensíveis; podem obter-se indicações genéricas, sob condição de que a prática as confirme.

A aplicação dos materiais faz-se com este carácter um tanto incerto, o que dá lugar a duas grandes categorias de interessados no estudo da corrosão: os consumidores de metais e ligas e os produtores.

De um lado os grandes utilizadores não se dispensam de verificar os materiais que utilizam: são os organismos oficiais de aeronáutica, exército e marinha em cada país, as grandes fornecedoras e exploradoras de material ferroviário e rodoviário, as grandes indústrias organizadas, como a petrolífera.

No outro grupo ficam as associações de produtores de metais e os fabricantes de ligas, com a finalidade de encontrar as melhores características dos metais que produzem para as recomendar e de obter produtos de melhor aceitação pelos consumidores.

É deste conjunto e colaboração que tem derivado a maior parte da literatura amontoada sobre o problema da corrosão e à qual se deve quase todos os dados de que dispomos para julgar do comportamento dos materiais metálicos em condições de degradação por corrosão.

*

Deixando de lado a exposição das teorias que interessam aos fenómenos corrosivos, assunto que merece ser tratado independentemente e com desenvolvimento (*), vamos apenas ocupar-nos dos chamados aços inoxidáveis ou «stainless» e das suas propriedades gerais, bastante importantes.

Convém notar que as designações «inox» e «stainless» apenas são de empregar em homenagem à prática corrente. Na verdade as ligas de matriz ferrosa e elevadas percentagens de elementos ligados constituem o grupo mais importante de todos os materiais metálicos que se comportam de modo satisfatório, colocados em condições de corrosão, mas, estritamente falando, não há metais ou ligas inoxidáveis.

As ligas ferrosas que constituem objecto do que se segue resistem a certas condições de ataque, são oxidadas e degradadas em outras condições; assim não fosse e o problema da corrosão teria perdido grande parte da sua importância.

Deve-se, pois, falar de preferência de aços resistentes à corrosão, resistentes ao calor e resistentes à oxidação seca (scaling).

Na verdade os materiais da categoria «stainless» são caracterizados por resistirem bem ao ataque de muitos meios ácidos e alcalinos — mas não a todos; por manterem em serviço a temperaturas elevadas valores ainda apreciáveis das suas propriedades mecânicas, o que não se verifica com outros materiais metálicos cujos valores característicos das propriedades mecânicas caem velozmente ao subir a temperatura, e por só se

(*) Ver um dos próximos números da «Técnica».

oxidarem de maneira sensível a temperaturas bastante elevadas.

Os aços «stainless» serão, desta maneira, os materiais para serviço a temperaturas elevadas, quer se procure resistência mecânica, quer se procure resistência à corrosão ou à oxidação. E assim o que interessa é conhecer a sua constituição e propriedades gerais relacionando-as com as condições de aplicação.

*

Os aços inoxidáveis são fundamentalmente ligas de ferro e crómio com adições de percentagens variáveis de níquel. O carbono tem que ser sempre considerado; muito embora o seu teor se mantenha baixo e o seu efeito geral seja nocivo, não é possível eliminá-lo completamente, constituindo por isso outro elemento de liga. Outros elementos são adicionados aos aços «stainless» em pequenas percentagens e com fins específicos.

De uma maneira geral, pode dizer-se que a adição de outros elementos de liga aos aços modifica o diagrama de equilíbrio, se não pelo aparecimento de novas fases, pelo menos modificando a composição e proporções das outras já existentes e as temperaturas e velocidades de transformações. Os possíveis efeitos de adições efectuadas aos aços, serão assim:

— formar soluções sólidas ou compostos intermetálicos,
— alterar as temperaturas de transformação,
— alterar a solubilidade do carbono nas fases alfa e gama,
— alterar a velocidade de transformação da austenite e a velocidade de dissolução da cementite na austenite, e
— modificar as temperaturas de têmpera.

Teria muito interesse o estudo dos sistemas de equilíbrio tal como se apresentam neste tipo de aços; na verdade não é possível proceder deste modo porque se o estudo completo de um sistema de liga com três elementos já se complica notàvelmente, as dificuldades tornam-se pràticamente insuperáveis com os sistemas de quatro e cinco elementos que constituem a maioria dos aços «stainless».

Limitamo-nos por isso a examinar abreviadamente os diagramas de estado dos sistemas de liga ferro-crómio, ferro-crómio-carbono, ferro-níquel e ferro-crómio-níquel, notando a influência de outros possíveis constituintes sobre as estruturas.

Em certos casos não estão bem estabelecidos os respectivos diagramas de equilíbrio, porque as transformações são extremamente lentas e não se completam dentro de prazos compatíveis com a observação. Assim, os diagramas que se dão a seguir são representativos de estados próximos do equilíbrio ou «diagramas de constituição»; oferecem, de resto, o maior interesse, visto que são eles que traduzem as condições encontradas na prática.

*

Ligas ferro-crómio — como se vê do respectivo diagrama de estado, indicado na figura 1, o crómio forma com o ferro uma série contínua de soluções sólidas apresentando estrutura recticular cúbica de corpo centrado: o ferro gama, estável entre as temperaturas de 908° e 1400° C., de estrutura cúbica de faces centradas, desaparece para teores de crómio superiores a cerca de 12 %. Esta limitação da região gama, tende a estabilizar a forma alfa do ferro para percentagens convenientes do elemento de liga. Pode

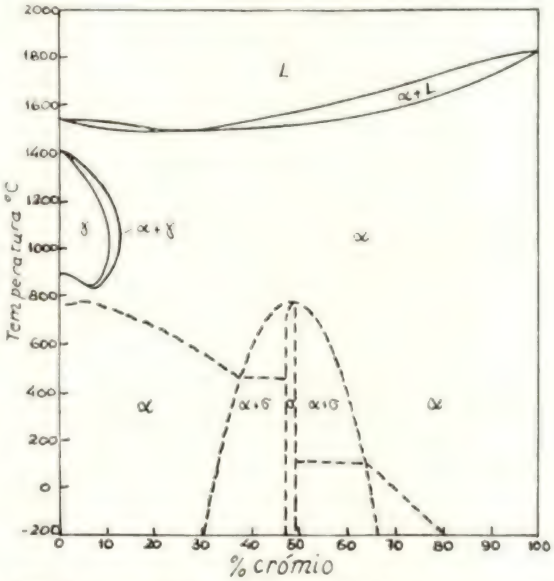


Fig. 1 — Diagrama de constituição das ligas Fe-Cr

também considerar-se o limite direito desta zona como indicativo da máxima solubilidade do elemento de liga no ferro gama; corresponde sensìvelmente a 11,5 % Cr, 2,57 % Mo, 3 % W, 1 % V, 0.3 % P, 2 % Si ou 1 % Al.

Portanto, todas as ligas com mais de 12 % Cr apresentam uma estrutura de equilíbrio ferrítica, caracterizada pela malha cúbica de corpo centrado; pequenas quantidades de carbono aumentam a área austenítica. Note-se que embora a percentagem indicada de ~ 12 % Cr como limite das regiões gama e alfa coincida com a % de Cr que confere maior resistência à corrosão das ligas Fe-Cr, não é a presença de uma estrutura gama ou alfa que influi predominantemente na resistência destas ligas aos agentes corrosivos.

Ligas ferro-crómio-carbono — o estudo do diagrama ternário representativo do estado das ligas ferro-crómio-carbono oferece bastantes dificuldades e não permite conclusões fáceis dado que se depara com estados metaestáveis que não representam equilíbrios verdadeiros. Nas figuras 2, 3, 4 e 5 indicam-se cortes verticais do prisma composições-temperaturas para teores constantes de crómio (8, 12, 15 e 20 %, respectivamente) e percentagens de carbono variáveis de 0.0 a 1.4 %.

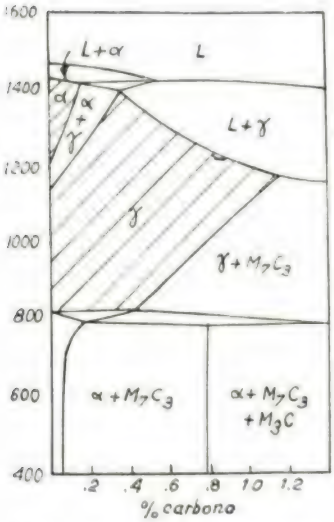


Fig. 2 — Corte vertical do diagrama Fe-Cr-C para 8 % Cr

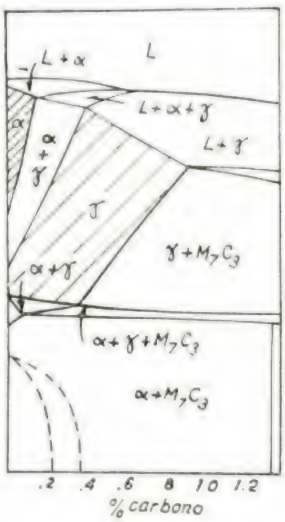


Fig. 3 — Corte vertical do diagrama Fe-Cr-C para 12 % Cr

Destas figuras se pode concluir que o carbono reduz os limites da fase gama, a qual desaparece para 20 % Cr; aumentam paralelamente as áreas correspondentes às fases alfa e alfa + gama.

A presença possível de outros elementos tais como manganês e cobre, altera os limites de separação de fases.

Pode dizer-se que as ligas de estrutura ferrítica não são endurecíveis e que as de estrutura martensítica são endurecíveis, com efeito, aumentando o teor de carbono, favorece-se a precipitação de carbonetos de ferro e de crómio durante o arrefecimento lento desde temperaturas austeníticas, como se vê das figuras 2 a 5. Assim as ligas com mais de 12 % Cr e cerca de 0,35 % C responderão aos tratamentos térmicos.

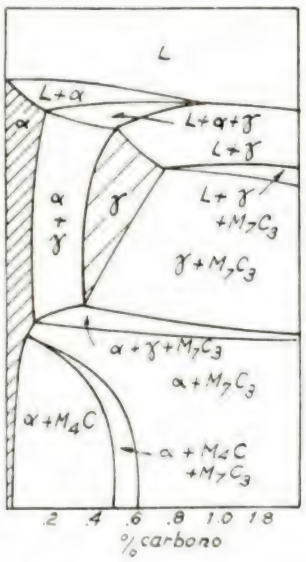


Fig. 4 — Corte vertical do diagrama Fe-Cr-C para 15 % Cr

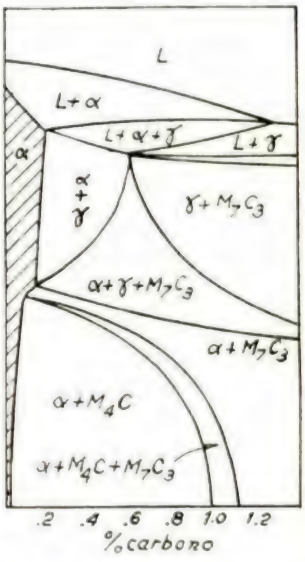


Fig. 5 — Corte vertical do diagrama Fe-Cr-C para 20 % Cr

Ligas ferro-níquel — como o níquel tem estrutura cristalina idêntica à do ferro gama, verifica-se a tendência para suprimir durante o arrefecimento a transformação gama-alfa, enquanto que no aquecimento se verifica que a temperatura correspondente à transformação alfa-gama é elevada.

São especialmente importantes ligas de alto teor em níquel («Invar», com 30 % Ni, «Elinvar», com 32 % Ni, 4-5 % Cr, 1-3 % W, Mn, Si, C) pelas suas propriedades eléctricas.

O respectivo diagrama de estrutura está esquematizado na figura 6.

Ligas ferro-cromo-níquel — como se vê na fig. 7 onde se esquematizam secções verticais do diagrama de constituição do sistema ternário Fe-Cr-Ni para teores constantes de crómio a 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 %, o crómio aumenta as àreas alfa e alfa + gama e diminui a região gama;

percentagens crescentes de níquel aumentam a zona da solução sólida gama.

Na figura 8 mostra-se a distribuição provável das fases a 300° C e próximo das condições de

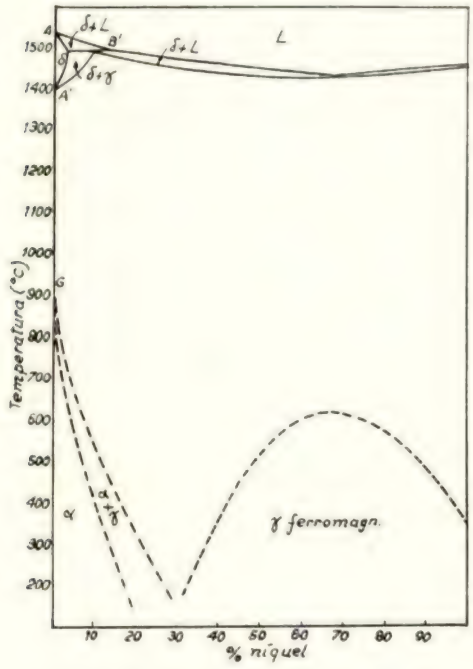


Fig. 6 — Diagrama de constituição das ligas Fe-Ni

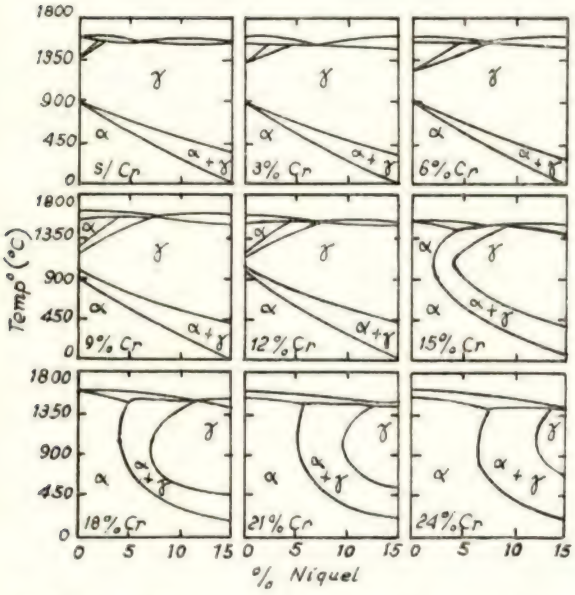


Fig. 7 — Secções do diagrama Fe-Ni-Cr para diferentes % de Cr e teores variáveis de Ni

equilíbrio, após arrefecimento desde temperaturas austeníticas. Na figura 9, esquematiza-se o

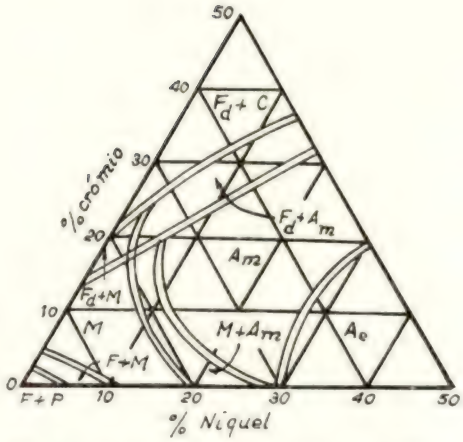


Fig. 8 — Distribuição de fases no sistema Fe-Ni-Cr a 300° C.

efeito do carbono sobre a liga ternária 74 % Fe, 18 % Cr e 8 % Ni, de grande interesse prático.

*

Pode dar-se uma ideia geral do efeito característico de cada um dos elementos de liga habituais nos aços «stainless», nomeadamente das suas influências sobre as propriedades físicas, constituição e resistência à corrosão:

Crómio — em ligas com o ferro nas quais esteja presente em teores superiores a cerca de 12 % evidencia a sua propriedade de formar uma fina película de óxido por combinação com oxigénio livre ou proveniente de qualquer outra substância que o possa ceder.

O óxido de crómio que se forma na superfície dos aços inox, para constituir uma protecção efectiva não deve apresentar descontinuidades, pelo que o acabamento das superfícies e os cuidados na realização dos tratamentos térmicos são de grande importância; traduz-se desta maneira a chamada acção passivante do crómio.

Na ausência de um meio oxidante, a resistência das ligas ferro-crómio à corrosão depende da pequena velocidade de dissolução da película de óxido nos agentes corrosivos, a qual se for perfurada, nestas condições, não se reformaria por falta de oxigénio. São os outros elementos de liga que, neste caso, garantem a resistência à corrosão (Ni, Mo, Cu, etc.).

Níquel — constitui uma adição suplementar ao crómio, empregando-se normalmente em teores variáveis entre 7 e 20 %; no entanto mesmo quando presente em pequenas percentagens, o níquel actua como estabilizador da austenite.

Até teores de 2 %, a adição de níquel aumenta a resistência à tracção, a elasticidade e o endurecimento ao ar. De uma maneira geral, melhora as propriedades físicas, aumenta notàvelmente a resistência à corrosão, torna os aços não magné-

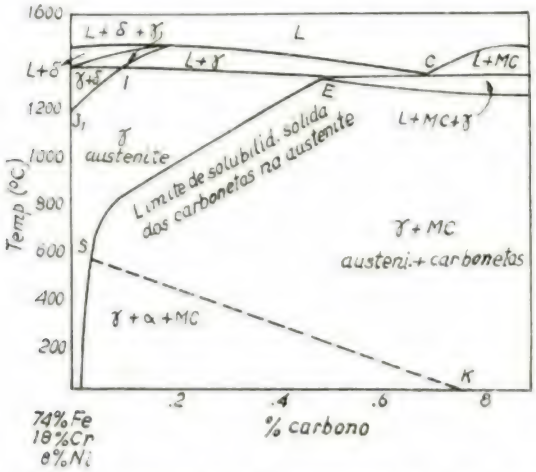


Fig. 9 — Influência de % crescente de C na liga 74 % Fe, 18 % Cr, 8 % Ni

ticos, não sensíveis a tratamento térmico, melhora a soldabilidade, torna-os mais tenazes e resistentes à fluência; a presença do níquel torna os aços mais endurecíveis por deformação a frio.

Carbono — como já se disse, é elemento não útil, porque torna os aços sensíveis a temperaturas elevadas, permitindo a formação de carbonetos os quais se depositam preferencialmente nas superfícies de separação dos grãos cristalinos. Até 0,2 % esta acção não é muito marcada.

Molibdénio — aumenta a resistência à corrosão perante certos agentes; melhora a resistência à tracção e a tenacidade diminuindo a fluência. Emprega-se em teores variáveis entre 2 e 4 %. Melhora também a resistência a temperaturas elevadas e a lavorabilidade.

Colômbio e Titânio — impedem a sensibilização dos aços «stainless», devida à formação de carbonetos de crómio e ferro; são assim elementos que diminuem grandemente a corrosão intercristalina devido à sua grande afinidade para o carbono. Para que esta acção estabilizadora se verifique deve empregar-se o colômbio como elemento de liga na proporção 10 Cb : 1C e o titânio na proporção 5Ti : 1C; por isso as suas percentagem variam, respectivamente, entre 0.7 e 1.0 % e 0.40 — 0.75 %.

A sensibilização dos aços inox é devida à formação de carbonetos de crómio e ferro e à sua segregação nos limites dos grãos cristalinos. A remoção de crómio distribuído na matriz causa

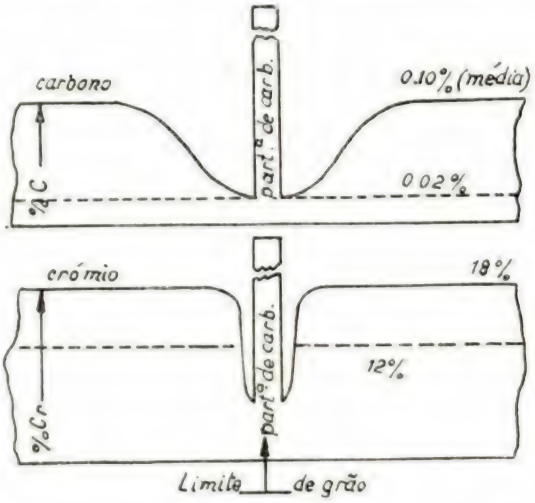


Fig. 10 — Distribuição esquemática do C e do Cr na vizinhança de uma partícula de carboneto

empobrecimentos localizados de crómio nas zonas vizinhas das partículas de carbonetos segregados; a figura 10 dá uma ideia esquemática deste processo, o qual pode causar mesmo a transformação da matriz austenítica em ferrítica.

A acção estabilizadora do Cb e do Ti, sob este ponto de vista consiste em ligar-se ao carbono disponível, o que permite manter o crómio em solução uniforme.

*

O efeito dos elementos de liga sobre as propriedades dos aços «stainless» pode ser exemplificado muito claramente sob a forma gráfica.

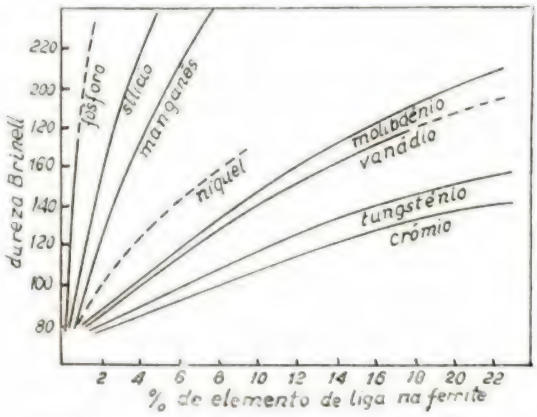


Fig. 11 — Efeito de diferentes elementos de liga sobre a dureza dos aços inoxidáveis

Assim, esquematiza-se na figura 11 a influência de diversos elementos de liga que formam carbonetos sobre a dureza; na figura 12 mostra-se o efeito de teores crescentes de crómio sobre a resistência à tracção de aços com 0.1, 0.2 e 0.3 % de carbono; a fig. 13 esquematiza a variação da temperatura de transformação eutetoide com a presença de teores crescentes de diferentes elementos de liga; a composição do eutetoide é também alterada por diferentes elementos que se adicionem, o que consta da figura 14.

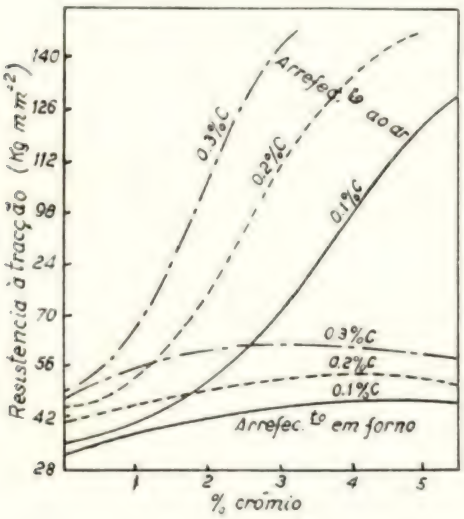


Fig. 12 — Acção do Cr sobre a resistência à tracção dos aços

Verifica-se que manganés e níquel são estabilizadores da estrutura austenítica à temperatura ambiente; os outros elementos de liga aumentam a temperatura de transformação e podem, para percentuais convenientes, reunir as regiões alfa e delta do diagrama ferro-carbono; a figura 15 mostra o efeito do crómio como redutor da área austenítica, redução ainda mais notória no caso de outros elementos de liga, como o molibdénio, ao qual se refere a fig. 16. Deste efeito resulta uma limitada zona percentual de carbono, dentro da qual é possível o endurecimento.

*

Na Tabela I indicam-se em paralelo as especificações standard americanas (AISI) e suecas (SIS) para os aços «stainless».

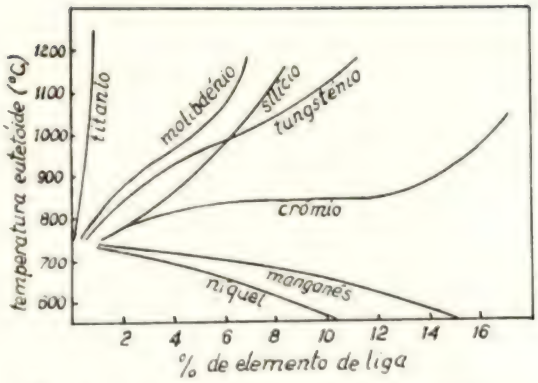


Fig. 13 — Variação da temperatura eutetoide em função do teor de elementos de liga

A classificação do American Iron and Steel Institute é feita de acordo com as seguintes regras:

— no grupo A — aços martensíticos — a diferença entre a % de crómio e dezassete vezes a % de carbono deve ser menor que 12,5

$$\% \text{ Cr} - (17 \times \% \text{ C}) \leqslant 12{,}5$$

— no grupo B — aços ferríticos — aquela diferença deve ser superior a 12,5

$$\% \text{ Cr} - (17 \times \% \text{ C}) > 12{,}5$$

— no grupo C — aços austeníticos — devem conter pelo menos 24 % de Cr + Ni, não sendo a % de qualquer um destes elementos de liga inferior a 8.

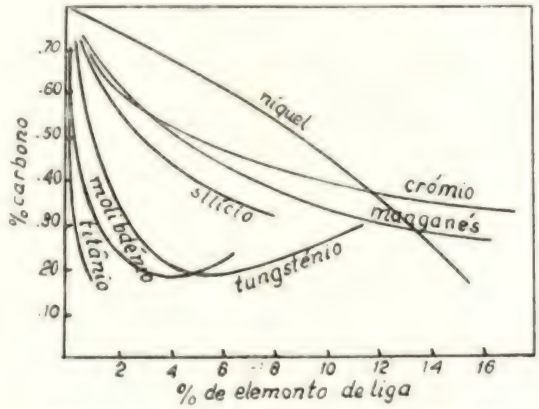


Fig. 14 — Variação da composição do ponto eutetoide em função da % de elementos de ligas

Tem também interesse o diagrama de Bain que refere as características estruturais e possibilidades de endurecimento dos aços «stainless» em

função das percentagens de crómio e carbono (figura 17) que ajuda a compreender as classificações adoptadas.

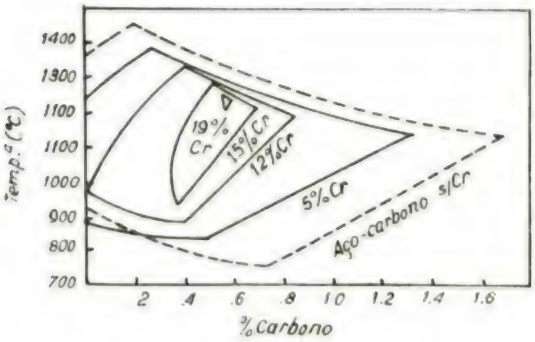


Fig. 15 — Efeito do Cr sobre a extensão da área austenítica

O exame da Tabela I, mostra que variando a composição dos aços inox dentro de limites bastante afastados, a sua classificação com essa base não permite uma boa ordenação no que respeita às suas propriedades mecânicas e conveniência para determinadas aplicações, características de lavorabilidade, tratamentos térmicos mais adequados, soldabilidade, etc.

É por isso que convém empregar uma divisão com base na estrutura e assim teremos aços stainless ferríticos, martensíticos e austeníticos.

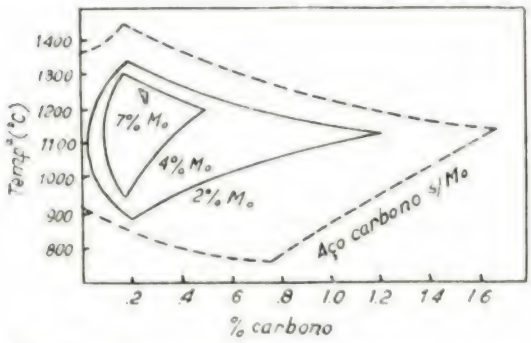


Fig. 16 — Efeito do Mo sobre a extensão da área austenítica

Aços ferríticos — contém entre 13 e 30 % de crómio, mantendo-se o carbono entre 0,08 e 0,25 %, crescendo os teores destes dois elementos paralelamente. O crómio se não é o único é pelo menos o principal elemento de liga; titânio, níquel e molibdénio só aparecem em pequenas percentagens que não afectam as propriedades características. São todos magnéticos. Não são endurecíveis de maneira sensível.

Propriedades mecânicas:

Resistência à tracção — cerca de 50 kg. mm^{-2}
Ponto de cedência — cerca de 30 kg. mm^{-2}
Alongamento % (10 D) — cerca de 20 %

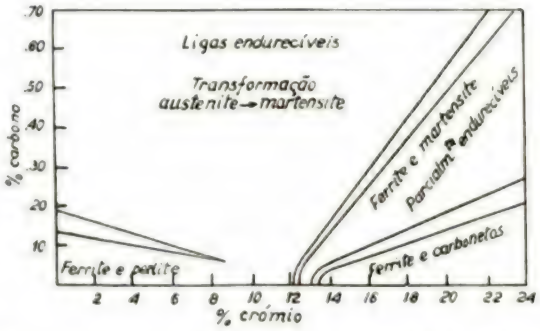


Fig. 17 — Características estruturais e possibilidades de endurecimento dos aços inoxidáveis em função da % de Cr

Até temperaturas da ordem de 400 — 500° C os valores das propriedades mecânicas mantêm-se razoàvelmente; a temperaturas superiores decaem

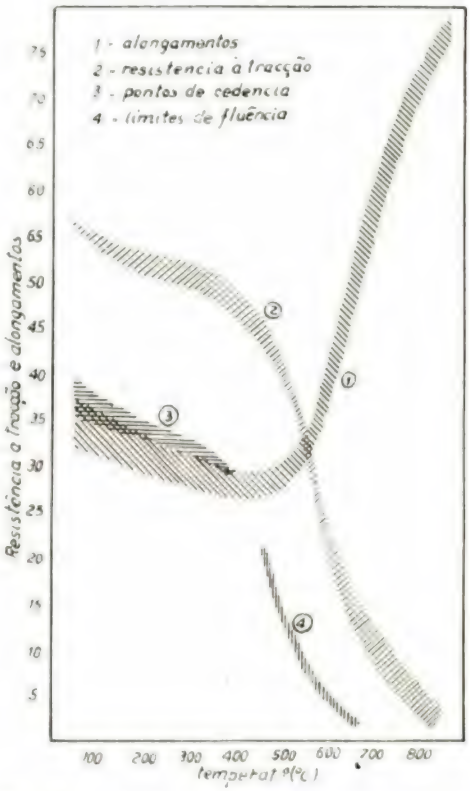


Fig. 18 — Variação das propriedades mecânicas dos aços ferríticos em função da temperatura

muito. A figura 18 esquematiza a variação das propriedades mecânicas dos aços ferríticos em função da temperatura.

TABELA I

Especificação AISI

Tipo AISI	Composição % C	% Cr	% Ni	% Mo	Outros
MARTENSÍTICOS					
403	1.15*	11.5 — 13.0			
410	.15*	11.5 — 13.5			
414	.15*	11.5 — 13 5	1.25 — 2.50		
416	.15*	12.0 — 14.0		.60*	Zr . 60
420	< .15	12.0 — 14.0			
431	.20*	16.0 — 17.0	1.25 — 2.50		
440 A	.60 - .75	16.0 — 18.0		.75*	
440 B	.75 - .95	16.0 — 18.0		.75*	
440 C	.95 - 1.2	16.0 — 18.0		.75*	
501	< .10	4.0 — 6 0			
502	.10*	4.0 — 6.0			
FERRÍTICOS					
405	.08*	11.5 — 13.5			Al .10 - .30
406	.15*	12.0 — 14 0			Al 3.50 - 45.0
430	.12*	14.0 — 18.0			
430 F	.12*	14.0 — 18.0		60*	Zr .60*
442	.20*	18.0 — 23 0			
443	.20*	18.0 — 23.0			Cu .90 - 1.25
446	.35*	23.0 — 27 0			
AUSTENÍTICOS					
301	.08- 20	16.0 — 18.0	6.0 — 8 0		Mn 2.0*
302	.08-.20	17.0 — 19.0	8.0 — 10.0		Mn 2.0*
302 B	.08-.20	17.0 — 19.0	8.0 — 10.0		Mn 2.0* Si 2.0 - 3.0
303	.15*	17.0 — 19.0	8.0 — 10.0		Mo .60* Zr .60*
304	.08*	18.0 — 20.0	8.0 — 11.0		Mn 2.0*
308	.08*	19.0 — 21.0	10.0 — 12.0		Mn 2.0*
309	.20*	22.0 — 24.0	12.0 — 15.0		Mn 2.0*
309 S	.08*	22.0 — 24.0	12.0 — 15.0		Mn 2.0*
310	.25*	24.0 — 26.0	19.0 — 22.0	2.0 — 3.0	Mn 2.0*
316	.10*	16.0 — 18.0	10.0 — 14.0	3.0 — 4 0	
317	.10*	18.0 — 20.0	11.0 — 14 0		
321	.08*	17.0 — 19.0	8.0 — 11.0		
347	.08*	17.0 — 91.0	9.0 — 12.0		Cb = 10 × % C

Especificação SIS

Tipo SIS	Composição % C	% Cr	% Ni	% Mo	Outros
FERRÍTICOS-MARTENSÍTICOS					
2302	.12	14.			
2303	~ .20	13.			
2304	~ .35	14.			
2320	.10 — .15	18.			
2321-2	.25	17.	2.		
2322	.25	25.			
FERRÍTICOS-AUSTENÍTICOS					
2323	.12	27.	5.		
2324	.10	27.	5.	1.5	
AUSTENÍTICOS					
2330	.15	18.	8.		
2331	.15	18.	8.		
2332	.10	18.	8.		
2333	.08	18.	8.		Ti, Nb, etc.
2334	.12	18.	9.		Ti, Nb, et.c
2340	.10	18.	9.	1.5	
2341	.08	18.	9.	1.5	Ti, Nb, etc.
2342	.10	18.	10.	2.5	
2343	.08	18.	10.	2.5	Ti, Nb, etc
2360	.12	20.	20.		
2361	.20	25.	20.		

* Indica % máxima.

Comportamento térmico — a temperaturas baixas, os aços ferríticos recozidos e laminados apresentam grão fino e têm boa tenacidade; por aquecimento a 800° C o grão torna-se mais grosseiro, aparecendo fragilidade à temperatura ambiente tanto mais notória quanto o aquecimento tenha sido longo; a estrutura não é restaurável por tratamentos térmicos posteriores, o que se torna um inconveniente de vulto na laminagem, na prensagem e na estampagem.

Aplicações genéricas — resistem bem ao enferrujamento quando imersos em água; servem para aplicações nas indústrias alimentares e outras onde se apliquem produtos químicos de fraca concentração; têm boa resistência a quente combinada com resistência mecânica. Resistem bem a temperaturas altas em atmosferas com SO_2.

Aços martensíticos — contêm 13 a 18 % de crómio variando o teor de carbono entre 0.08 % e 1.0 %; pode conter pequenas percentagens de molibdénio e níquel. O teor de carbono é geralmente um pouco mais elevado do que nos aços de estrutura ferrítica; as percentagens de Cr e C são conjugadas de modo a que o aço por aquecimento tome uma estrutura quase completamente austenítica, a qual se torna martensítica no arrefecimento. A maior ou menor % de C governa a transformação martensítica.

Estes aços são todos magnéticos e endurecíveis; têm boa resistência à corrosão seca e fracas propriedades mecânicas a quente.

Propriedades mecânicas

Resistência à tracção — 50 - 170 kg. mm^{-2}
Ponto de cedência — 30 - 130 kg. mm^{-2}
Alongamento (10 D) — 20 - 4 %

os valores indicados são muito diminuídos por endurecimento. Nas figuras 19 e 20 esquematiza-se a variação das principais propriedades mecânicas dos aços martensíticos com a temperatura de tratamento térmico. A figura 21 indica valores das mesmas propriedades para temperaturas elevadas.

Comportamento térmico — no estado recozido são aços relativamente macios e trabalháveis; aquecidos a 800° C e arrefecidos ao ar começam a endurecer, fenómeno que pode verificar-se du-

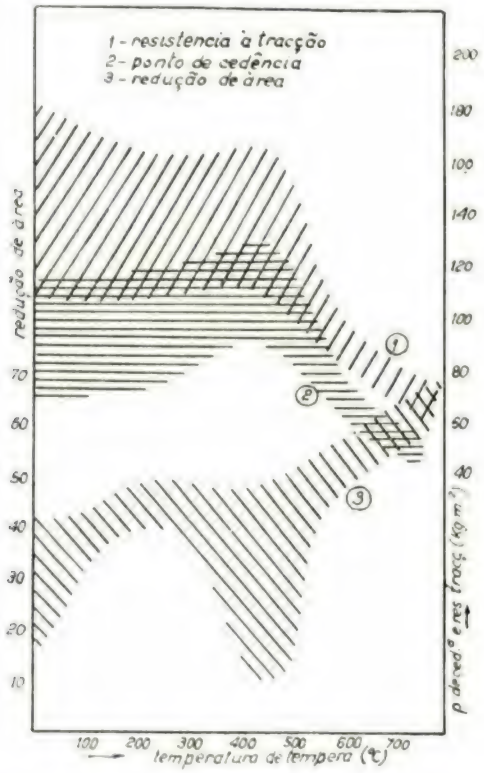


Fig. 19 — Variação das propriedades mecânicas dos aços martensíticos em função da temperatura de tratamento térmico

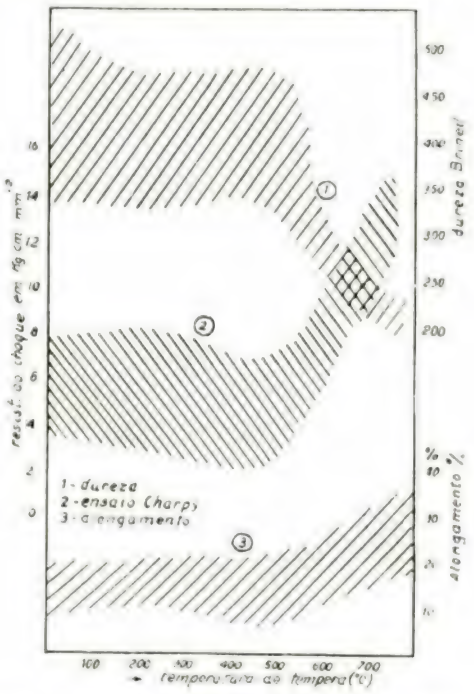


Fig. 20 — Variação das propriedades mecânicas dos aços martensíticos em função da temperatura de tratamento térmico

rante operações de soldadura ou outras, originando fendas. Não são portanto aços soldáveis, devendo ser sujeitos a cuidadoso tratamento térmico se esta operação tiver de realizar-se. O arrefecimento deve ser lento e uniforme.

Aplicações genéricas — sem grande resistência à corrosão, com dureza elevada e boas propriedades mecânicas, não são indicados para condições de trabalho muito severas, sob o ponto de vista de corrosão.

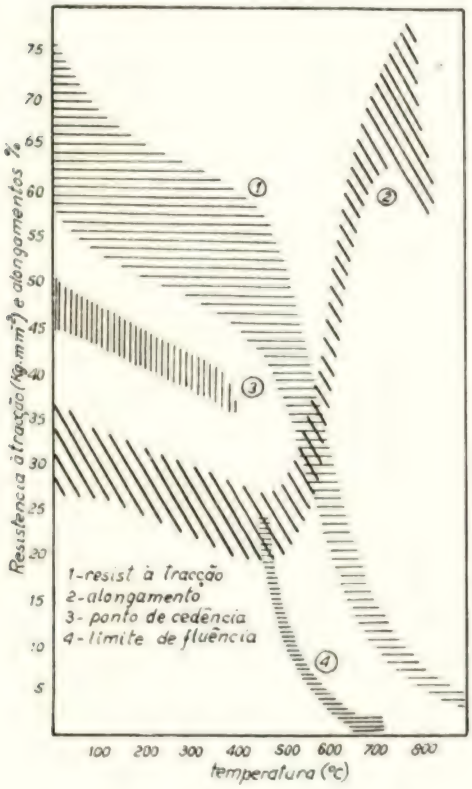


Fig. 21 — Variação das propriedades mecânicas dos aços martensíticos a temperaturas elevadas

Aços austeníticos — apresentam teores de crómio variáveis entre 12 e 26 %, níquel entre 7 e 25 %, carbono entre 0.05 e 0.20 %; o molibdénio, cobalto, tungsténio, etc. são também frequentes. Não são aços duros, nem endurecíveis, nem magnéticos; podem apresentar fracas propriedades magnéticas para teores de carbono muito baixo, para teores altos de crómio, molibdénio, titânio ou colômbio ou depois de deformação a frio.

Propriedades mecânicas:

Resistência à tracção	55-70 kg. mm^{-2}
Ponto de cedência...	20-35 kg. mm^{-2}
Alongamento (10 D)	35-55 %

não endurecem por arrefecimento; pelo contrário, o arrefecimento brusco diminui a dureza. A

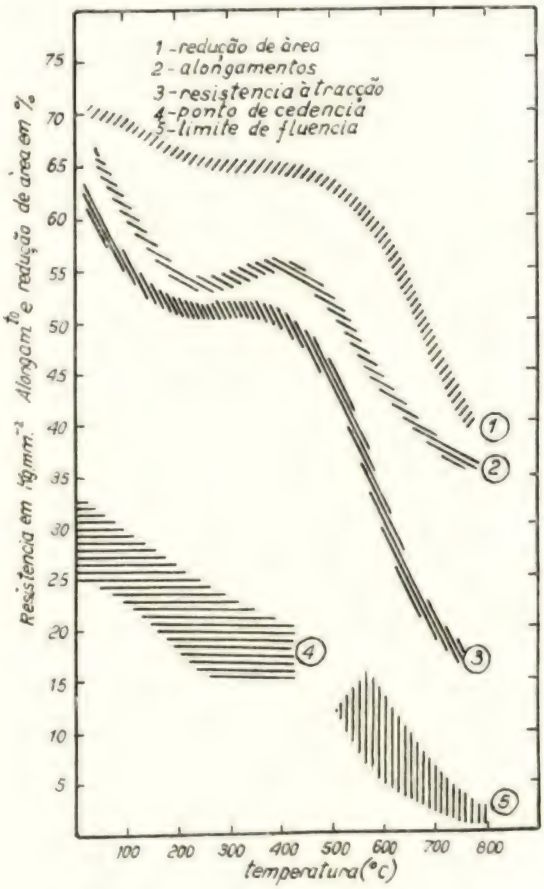


Fig. 22 — Variação das propriedades mecânicas dos aços austeníticos a temperaturas elevados

figura 22, indica, genèricamente, a variação das principais propriedades mecânicas a temperaturas elevadas.

Comportamento térmico — no estado recozido é muito macio, aumentando a dureza com o grau de deformação à frio, propriedade que permite obter elevada resistência mecânica e elasticidade por laminagem a frio não seguida de recozimento. É fàcilmente soldável, devendo ser recozido depois desta operação para manter alta a resistência à corrosão.

Aplicações genéricas — em indústrias químicas e alimentares, fornos e outra aparelhagem resistente ao calor; construções soldadas.

Aços ferrítico-austeníticos — apresentam teor elevado de crómio, até 26 % e percentagens de níquel entre 4 e 6; o carbono em geral não excede 0.10 %. O molibdénio pode estar presente.

Propriedades mecânicas:

Resistência à tracção	cerca de 70 kg. mm^{-2}
Ponto de cedência..	cerca de 50 kg. mm^{-2}
Alongamento (10 D)	cerca de 18 %

Comportamento térmico — recozido é tenaz e soldável; a resistência à corrosão e a tenacidade diminuem muito entre 400 e 900° C., podendo recuperar estas propriedades por recozimento entre 950-1.000° C.

*

Aplicações genéricas — bastante resistente a ácidos, pelo que se emprega em indústrias químicas; razoàvelmente resistente ao calor até temperaturas da ordem de 900-1.000° C.

Entende-se que um aço que deva ser empregado a temperatura elevada deve apresentar não só boas propriedades mecânicas como resistência química ao ar e outros gases com os quais possa estar em contacto.

Considera-se como temperatura limite de resistência à oxidação aquela para a qual começa a verificar-se uma oxidação forte e contínua; esta definição é bastante imprecisa, até porque uma primeira camada de óxido, se for contínua e aderente pode proteger o metal contra o progresso da acção oxidante e pode prejudicá-lo se se soltar sob a forma de escamas.

Além disso aquela temperatura limite varia muito com a natureza do meio oxidante (ar seco, gases sulfurosos, anidrido carbónico, vapor de água, etc.).

Na figura 23 dá-se uma indicação esquemática da resistência à oxidação seca de vários aços «stainless» comparados com um aço-carbono, aquecidos a temperaturas crescentes, no ar puro.

Pelo que respeita às propriedades mecânicas a quente, não se pode tomar como referência o comportamento do material à temperatura ambiente; um material plástico sujeito a esforços sofrerá deformações elásticas ou permanentes, se o esforço exceder o seu limite elástico. No caso dos aços as deformações permanentes aparecem logo que se excede o ponto de cedência do material e este é função da temperatura, como se mostra na figura 24, tal como a fluência, que também importa considerar sob este aspecto.

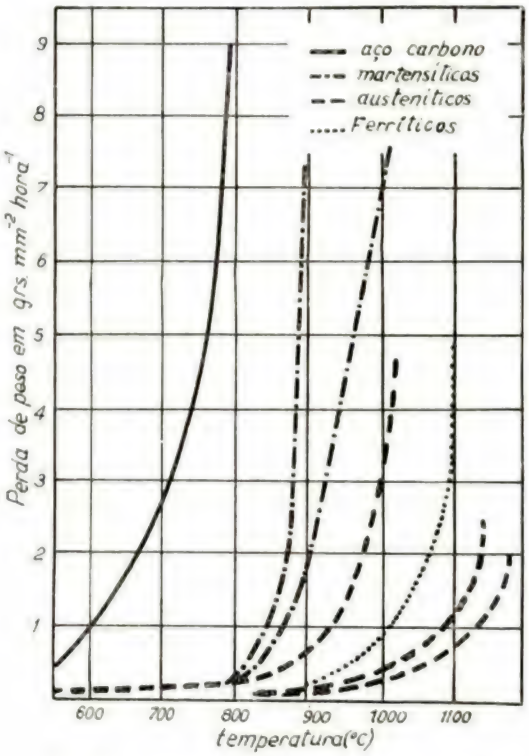


Fig. 23 — Resistência à oxidação seca dos aços inoxidáveis

O ponto de cedência, a que nos podemos referir para condições de esforço a baixa temperatura, não serve de indicação para serviço a temperaturas elevadas e, neste caso, é a fluência que interessa.

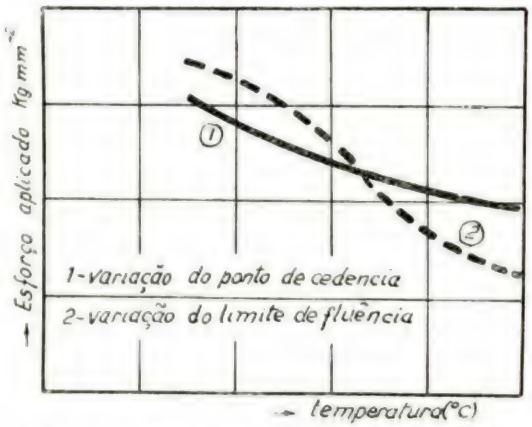


Fig. 24 — Variação do ponto de cedência e do limite de fluência dos aços inoxidáveis com a temperatura

Tem também muita importância o limite de fluência, tracção constante que produz no material uma velocidade crescente de alongamento (σ_c) a uma dada temperatura. Designa-se por σ_{cB} a tensão constante que origina a fractura do material num tempo determinado.

Os tratamentos térmicos têm grande influência sobre a resistência química dos aços «stainless». Em geral, após qualquer deformação a quente deve sujeitar-se o material a um recozimento que regenera as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão; igualmente se pratica o recozimento após a deformação a frio, a qual dá lugar a endurecimento.

Como qualquer tratamento térmico origina o aparecimento de uma camada superficial de óxido, esta deve ser cuidadosamente removida antes do material ser empregado, a menos que se destine exactamente a resistir ao calor.

A remoção da película de óxido (decapagem) deve ser seguida por acabamentos superficiais mais ou menos cuidadosos conforme a aplicação que se pretende dar ao aço; simples riscas ou fendas ou mesmo a rugosidade das superfícies tem enorme influência na resistência do material a agentes corrosivos em meio húmido, pelo que se leva, em certos casos, estes tratamentos a um grau muito elevado de perfeição.

A tabela II contém um resumo comparativo devido a F. R. Palmer das principais características dos aços «stainless» que evidencia melhor as distinções resultantes das diferenças de composição e estruturais.

*

Pelo que respeita às propriedades mecânicas, é relativamente simples a apreciação do valor de um determinado aço inox tendo em vista uma aplicação específica. Outro tanto não se pode dizer àcerca do seu comportamento perante agentes corrosivos, no qual, como já se disse, tantos factores interferem.

Dependendo da severidade das condições de aplicação, todos os aços são atacados em maior ou menor grau.

A corrosão que se desenvolve de maneira mais ou menos geral por toda a superfície de exposição, caracterizada por perda de peso bastante sensível toma o nome de corrosão geral. O enferrujamento constitui um caso típico de corrosão geral que se verifica em presença de água e de oxigénio; no ar, se a humidade relativa for inferior a 60 % mesmo os aços comuns não estão sujeitos a este tipo de ataque; os aços completamente imersos na água também enferrujam em geral porque na água se contém quase sempre oxigénio dissolvido.

Forma-se primeiramente o hidróxido ferroso $Fe(OH)_2$ o qual se converte em hidrato $Fe_2O_3 . OH_2$ pela acção do O_2 dissolvido; e assim a ferrugem é uma mistura de óxidos e hidrato de ferro que não protege a superfície metálica de maiores danos porque não é aderente e é muito porosa.

Os próprios aços «stainless» podem enferrujar-se como consequência de tratamentos térmicos defeituosos ou de más condições das superfícies, especialmente em contacto com águas salgadas, apesar da acção passivante do crómio. Águas frescas, subterrâneas e de rios não são em geral perigosas para os aços inox.

É mais frequente para os aços «stainless» verificar-se a corrosão superficial localizada em pequenas áreas, às vezes minúsculas, mas muito numerosas; é a «picagem». Este processo, que origina perdas de peso insignificantes, é no entanto mais perigoso que a corrosão geral porque progride em profundidade como consequência de acções electroquímicas subsequentes ao primeiro estado de ataque superficial, o qual pode ele próprio ser consequência directa de um mau acabamento das superfícies.

São causa muito frequente de picagem os halogéneos, seus ácidos e sais.

A corrosão intercristalina é típica dos aços ditos «stainless», especialmente ferríticos e austeníticos; é muito dependente da composição e do tratamento térmico a que o aço tenha sido submetido. Se o teor de carbono é superior a 0.06 % só a presença de um elemento estabilizador (Cb, Ti, Ta) impede que a precipitação de carbonetos nos limites intercristalinos torne osa ços sensíveis a ataques corrosivos que se verificam em redor dos cristais de austenite.

Para os aços austeníticos um aquecimento, mesmo breve, entre 500 e 800° C. dá lugar a esta sensibilização, que também afecta embora menos fortemente os aços de estrutura ferrítica.

A corrosão intercristalina apenas se verifica perante soluções ácidas e com muita frequência em zonas sujeitas prèviamente a soldadura.

TABELA II

Características gerais dos aços resistentes à corrosão e a temperaturas elevadas

MARTENSÍTICOS	FERRÍTICOS	AUSTENÍTICOS
1 — *Composição química* Menos de 16 % Cr; menos de 0,40 % C; pode ter pequenas percentagens de W, Cu, Ni, Si, Cb, Al e mais frequentemente Mo. São magnéticos.	Mais de 16 % Cr; C bastante baixo, podendo aumentar proporcionalmente com a % de Cr. Pode ter pequenas percentagens de Cu, Ni, Si, Mo, W, N. São magnéticos.	% Ni bastante para garantir estrutura austenítica; não magnéticos; têm em geral % Cr superior ao dobro de % de Ni, sendo o total de Cr + Ni igual ou maior que 26 %; carbono bastante baixo.
2 — *Tratamento térmico* Respondem ao endurecimento e têmpera; as propriedades físicas resultantes dependem da composição, especialmente da % C.	Não respondem a tratamento térmico com 18 % Cr pode melhorar tenacidade por um recozimento longo a 750° C e arrefecimento ao ar. Com 25 % Cr toma melhor resistência e maior tenacidade por arrefecimento ràpido a partir de 900° C.	Não endurecem por tratamento térmico. Precisam de ser ràpidamente arrefecidos desde cerca de 1100° C para manter a estrutura austenítica isenta de carbonetos.
3 — *Tenacidade* Dependente da estrutura; depois de temperados não são frágeis.	As estruturas de laminagem a partir de lingotes de grão grosseiro, apresenta valores baixos; por laminagem conveniente a tenacidade pode melhorar. A estrutura fica mais fina se N_2 está presente.	Extremamente tenaz a todas as temperaturas até à do ar líquido; exceptuam-se os casos de corrosão intercristalina.
4 — *Crescimento do grão e variações de estrutura a temperaturas elevadas* Sem crescimento de grão excessivo. Resistente a choque até 750° C. A fragilidade nos aços-crómio simples depois de aquecimento longo e arrefecimento evita-se por adição de Mo.	Nos aços de baixo teor em C e nos de % alta de Si ou Al (quando deformados a frio) verifica-se crescimento de grão excessivo especialmente acima de 1050° C; o crescimento do grão é reduzido pelo N_2. O trabalho muito prolongado a temperaturas de ~ 500° C confere fragilidade a frio, embora não sejam frágeis à temperatura de trabalho.	As ligas da região austenite-martensite tendem a precipitar carbonetos entre as superfícies de separação de cristais a temperaturas entre 500 e 900° C., perdendo parte da sua tenacidade e tornando-se susceptíveis à corrosão intercristalina. Este efeito pode ser evitado manten 'o % C muito baixa, pelo Ti ou Cb, aumentando % Cr e Ni ou por estabilização.
5 — *Resistência a temperaturas elevadas* Muito melhor do que no aço-carbono para temperaturas até 550-650° C. Mantém a resistência à tracção até 400° C.	São tenazes até temperaturas da ordem de 850° C. Melhor ductilidade e pior resistência à fluência que os aços austeníticos.	Resistência à fluência elevada até 650° C., melhorado por W ou Mo. A tenacidade piora em aços não estabilizados a temperaturas entre 450 e 950° C.

MARTENÍSTICOS	FERRÍTICOS	AUSTENÍTICOS
6 — *Deformação a quente* Fàcilmente trabalháveis entre 950 e 1100° C. Os aços-crómio simples endurecem por arrefecimento ao ar.	Fàcilmente trabalháveis, devendo ser aquecidos ràpidamente. A forjagem deve realizar-se entre 950 e 1200° C; no último calor deve ser deformado até à temperatura de 750° para refinar o grão. Não endurecem ao ar.	Podem ser trabalhados a quente. Aquecer ràpidamente até 1200° C. forjar até 1000° C. Não endurecem ao ar.
7 — *Deformação a frio* Os aços de baixo teor em C são fàcilmente trabalháveis a frio.	Podem ser trabalhados, especialmente entre 150 e 250° C.	Podem ser trabalhados mas endurecem mais depressa que os aços martensíticos e ferríticos.
8 — *Trabalho ao torno* Satisfatório quando por tratamento técnico se levou a dureza a 200-250 Brinell. Os de corte rápido contêm enxofre ou selénio.	Satisfatório, especialmente se contiverem enxofre ou selénio.	Difícil, requerendo ferramentas de corte especiais.
6 — *Rebitagem* Satisfatória a frio; os aços endurecíveis ao ar não devem ser rebitados a quente a temperaturas superiores a 850° C.	Requere precauções especiais para evitar fragilidade. Não ultrapassar 800° C e usar furos chanfrados.	Excelente a quente e a frio. Os rebites a quente devem ser metidos a 1 050° C.
10 — *Soldadura* As partes a soldar requerem pré-aquecimento e devem ser recozidas antes que a soldadura endureça ao ar. Pode crescer um pouco o tamanho do grão. Cb e Al aumentam a ductilidade das soldaduras.	Soldáveis; recozimento a 800° C para diminuir a fragilidade da soldadura.	Soldável, devendo evitar-se a carburação. As soldaduras não endurecem. Só devem soldar-se aços de % C muito baixa, evitando prejudicar a resistência à corrosão.
11 — *Resistência à corrosão* Aumenta com o teor de Cr, mas é inferior à dos aços ferríticos e austeníticos. Resiste ao ar, água, vapor e meios corrosivos pouco activos. Se o C é alto o aço deve ser endurecido e temperado.	Melhor resistência que o grupo anterior, a qual aumenta com o teor de Cr. Conveniente para ácidos oxidantes.	A resistência depende muito do total de elementos de liga; resiste quase a todos os agentes corrosivos. Pode aparecer picagem em soluções clorídricas estagnadas.
12 — *Resistência à oxidação seca* Aumenta com a % Cr; geralmente boa para temperaturas até 650° C e em certos casos até 850° C.	Melhor que a do grupo anterior quando Cr $\geqslant$ 25 %, resistindo a atmosferas redutoras até 1 150° C; em atmosferas oxidantes e gases sulfurosos até 1 000° C.	Muito boa. Para SO_2 é conveniente aço de teor elevado de Cr e baixo em Ni. 2-3 % Si melhora muito a resistência à oxidação seca.

Têm também grande importância dois outros tipos de corrosão: a corrosão de contacto e a corrosão devida a tensões internas do material.

Se dois metais estão ligados por um condutor e mergulhados num electrólito, constitui-se um elemento galvânico e um dos metais será atacado, consoante as suas posições relativas na escala dos potenciais electrolíticos. A camada de óxido de crómio tornará os aços inox passivos, em geral; mas se a mesma tiver descontinuidades o aço tornado activo será prejudicado por esta forma de ataque. Como electrólitos as soluções de cloretos são particularmente agressivas.

A corrosão devida à existência de tensões internas no aço, provenientes de deformação mecânica ou de tratamento térmico verifica-se para aços de estrutura austenítica e em presença de soluções ácidas, dando lugar a fendas que não se constituem, em geral, através de superfícies de separação de cristais mas sim através dos próprios cristais segundo planos de escorregamento.

*

A escolha de um dado tipo de aço «stainless» deve fazer-se portanto atendendo a um grande número de variáveis; o conhecimento do comportamento anterior de um certo material cumprindo a mesma função é de grande auxílio.

Há que atender à natureza do meio corrosivo, sua concentração, grau de arejamento, se se trata de imersão em líquidos estagnados ou em movimento, ao efeito da erosão, à natureza e extensão de possíveis contaminações, à presença de gases, ao regime de temperaturas (altas ou baixas, constantes ou variáveis), ao contacto de outros metais, às deformações que o material deva sofrer, a quente ou a frio, à presença de soldaduras e possibilidade de efectuar tratamento térmico posterior, etc.

É muito frequente proceder-se a uma protecção das superfícies metálicas expostas com pinturas, vernizes, cobertura com alcatrão ou com depósitos metálicos superficiais, empregando inibidores ou por protecção catódica. O emprego específico de um ou outro modo de protecção depende das condições de trabalho e só pode determinar-se perante os casos concretos, de acordo com a prática.

Bibliografia

Avesta Jernverks Aktiebolag — publicações.

Bain — Functions of the alloying elements in steel — American Society for metals — Cleveland, Ohio, 1939.

Clark, Donald S. — Physical metallurgy for engineers—Van Nostrand e Co.—New York, 1952.

Evans, Ulick R. — Metallic corrosion, passivity and protection — Ed. Arnold — London, 1938.

Heyer, Robert, H. — Engineering physical metallurgy — Van Nostrand, 1940.

Hudson, J. C. — The corrosion of iron and steel — Van Nostrand, 1940.

Kinzel, A. B. e Francks, R. — The alloys of iron and chromium, vol. II — Mc Graw Hill — New York, 1940.

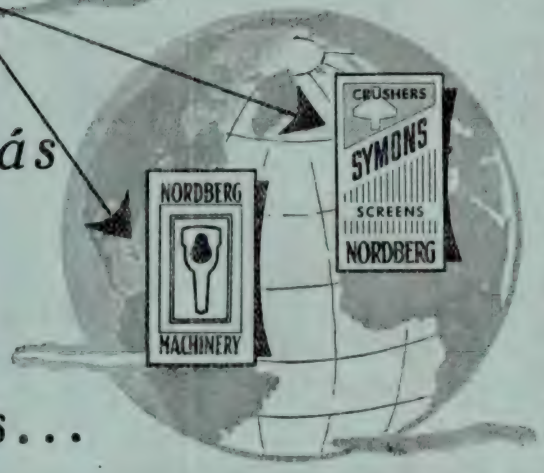
Marsh, J. S. — The alloys of iron and nickel, vol. I — Mc Graw Hill, 1938.

Metals Handbook — American Society for Metals — 1948.

Palmer, F. R. — The A-B-C of corrosion and heat resisting steels — Metals Progress, 34,340 (1938).

Thum — The book of stainless steells — American Society for metals, 1935.

Por detrás destas marcas registadas...



A PRIMAZIA MUNDIAL

no domínio da preparação

DE MINERAIS E MINÉRIOS

Toda a capacidade industrial seria grandemente prejudicada se não fossem os vastos tratamentos de minérios e minerais em todas as partes do mundo. E sem maquinaria eficiente e de grande capacidade, os tratamentos de minérios e minerais não teriam o rendimento que lhes é possível hoje.

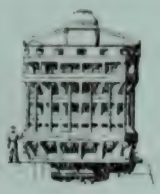
Neste campo importante, a Maquinaria Nordberg tornou-se a preferida dos grandes produtores do mundo inteiro... onde quer que minerais e minérios sejam tratados em quantidades.

Esta Maquinaria Nordberg de toda a confiança inclui guindastes para minas; Britadeiras Giratórias Symons para britagem primária; Britadeiras Standard e de cabeça curta, Symons, para britagem fina; Peneiras vibratórias e separadoras Symons; Moinhos a seco e molhado, e uma série muito completa de motores diesel Nordberg, que vão de 10 a mais de 10.000 C numa só unidade.

Peça folhetos sobre as máquinas que lhe interessam

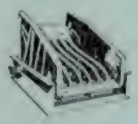
SYMONS... MARCA REGISTADA NORDBERG, CONHECIDA NO MUNDO INTEIRO

BRITADEIRAS GIRATÓRIAS SYMONS para BRITAGEM PRIMÁRIA nos tamanhos de 30" a 72" — Capacidade até 3500 toneladas por hora

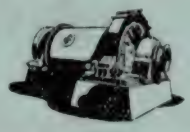


BRITADEIRAS CÓNICAS SYMONS para BRITAGEM FINA de 6 a 900 toneladas por hora

PENEIRAS VIBRATÓRIAS SYMONS para SEPARAÇÃO



SEPARADORAS VIBRÁTEIS SYMONS para todos os TRABALHOS em SÊCO E MOLHADO



MOINHOS NORDBERG numa VASTA SÉRIE de TIPOS E TAMANHOS

GUINDASTES NORDBERG PARA MINAS tanto para MINÉRIO como para MINEIROS

NORDBERG MFG. CO., Milwaukee, Wisconsin, U.S.A. END. TELEG. *NORDBERG*

LONDON 19 Curzon St., W.I. — JOHANNESBURG 42 Marshall Street — MEXICO, D.F. Dolores 3

REPRESENTANTES NAS PRINCIPAIS ÁREAS COMERCIAIS DO MUNDO

XM-154-P

Fornos eléctricos para tratamentos térmicos

BIRLEC **LIMITED**

BIRMINGHAM — Inglaterra

Os fornos **"BIRLEC"** são mundialmente usados nas indústrias Metalo-Mecânicas, para os mais variados tratamentos térmicos:

Têmpera — Revenido — Recozimento
Cementação — Aquecimento por indução a alta frequência

Fornos para cerâmica

Consulte os agentes:

AHLERS, LINDLEY, L.DA

Rua Ferregial de Baixo, 33 - 2.º

LISBOA

Telefone 21321/4

C. D. 669.841:624.042.7

O cálculo das construções para a acção dos sismos

ENG.ª CIVIL (I. S. T.) MARIA AMÉLIA F. CHAVES
ENG.º CIVIL (I. S. T.) J. S. BRAZÃO FARINHA

(Conclusão)

8. Aplicação a um caso concreto

Conforme dissemos, o exemplo que vamos apresentar não constitui ainda um caso característico de aplicação de todos os conceitos da técnica da construção anti-sísmica que procurámos expor resumidamente nos parágrafos anteriores. Trata-se apenas de uma primeira tentativa, da nossa parte, com vista à consideração das acções sísmicas, num projecto de edifício elaborado recentemente para Lisboa ([1]), cujo regulamento de construções não obriga à consideração de tais efeitos.

Julga-se, no entanto, que, apesar disso, poderão ter interesse as notas que se seguem, as quais foram redigidas com a única preocupação de, concretizando alguns dos elementos referidos, chamar a atenção para a facilidade do tratamento do problema, e para a franca possibilidade económica da sua consideração. Supomos mesmo que esta última conclusão é a que mais importa tirar do exemplo, justificando por si só a sua apresentação. Com base nos resultados a que se chegou, já depois de completamente elaborado o projecto, podemos procurar ir mais longe em futuras aplicações.

a) Condicionamentos gerais e configuração do edifício

O prédio projectado, conforme se indica na figura 6, é um prédio de gaveto. Necessidades de ordem arquitectónica levaram a dispor o edifício, em planta, por forma a constituir três corpos rectangulares: um, central, mais alto, com cerca de 30 metros de altura, e dois, laterais, um pouco mais baixos, com cerca de 25 metros de altura. A comunicação entre os diferentes corpos far-se-á, fundamentalmente, através de uma zona central, à retaguarda do prédio, reservada aos ascensores, à escada e às instalações sanitárias (ver fig. 7).

Dentro dos condicionamentos postos, procurou-se, numa íntima colaboração com o arquitecto, estabelecida desde o início dos estudos do respectivo projecto, que o futuro edifício apresentasse:

— *em planta*, formas simples e simétricas;
— *em alçado*, pureza de linhas e ausência de elementos postiços, susceptíveis de se libertarem da construção por efeito das vibrações;
— *estrutura* modulada, tanto quanto possível simétrica, e capaz de resistir às solicitações horizontais devidas à acção do vento ou dos sismos.

b) Localização do prédio. Características do solo. Fundações.

A primeira preocupação, no estudo do problema, foi a respeitante à *localização do futuro prédio*. Consultaram-se as plantas topográficas antigas do local, em particular a levantada em 1856-58 (General Filipe Folque) e editada em 1878, que foi directamente sobreposta com a planta de 1935, da C. M. L.

Da comparação das respectivas curvas de nível, resultou o esboço indicado na figura 8, o qual, se bem que podendo localmente dar noções pouco rigorosas (principalmente porque a planta de Folque representa uma superfície onde se tinham já executado movimentos de terra), parece indicar uma distribuição geral das terraplenagens de acordo com a realidade. Não deve principalmente esquecer-se que nem sempre a passagem da zona de aterros para a zona de escavações será tão precisa como da leitura do esboço se possa inferir, pois que o movimento de terras, nalgumas áreas, se limitou apenas a simples

([1]) Projecto da autoria do Arq.º Jorge Ferreira Chaves e dos Eng.ºs Maria Amélia Ferreira Chaves e Henrique C. Santos Paiva.

regularizações, sem espessura apreciável. As linhas que correspondem a cotas de trabalho superiores a 5 metros estão lògicamente orientadas, embora nos pareça, sobretudo em relação aos aterros, que poderiam num ou noutro caso tomar uma forma ligeiramente diferente. Não lhe quisemos porém introduzir qualquer interpretação pessoal.

Indica-se também no esboço o traçado provável dos antigos talvegues e os acidentes geológicos conhecidos nas proximidades. Por último, assinalou-se, ainda, o local onde se implantará o futuro prédio ([1]).

Verifica-se, nìtidamente, que este local não foi, noutras épocas, cortado por qualquer ravina hoje aterrada, como acontece em zonas vizinhas, a norte e a sul. Situa-se, pelo contrário, numa área em que aflora o terreno primitivo.

Fig. 6 — Perspectiva do prédio

([1]) Esquina das Ruas Braancamp e Mousinho da Silveira.

Feita esta análise topográfica, com base nas plantas antigas da cidade, passámos ao estudo sobre a carta geológica de Lisboa (1940). Esta indica-nos estarmos numa camada de argila dos Prazeres (M_I^2 Burdigaliano inferior) situada longe das falhas geológicas conhecidas, cujo andamento geral a carta indica.

A observação das construções existentes nas imediações mostra-nos que não se notam fendilhações nas paredes ou nas cantarias das fachadas que indiquem qualquer assentamento digno de registo que possa atribuir-se à natureza do terreno. Indícios desta natureza observam-se, porém, embora não fortemente, por exemplo, nalgumas das construções situadas a sul do local.

Finalmente, estudados estes vários aspectos do problema, passou-se à análise restrita do terreno destinado à construção, onde existia um antigo edifício que foi demolido ([2]), conforme se indica na figura 9.

O reconhecimento preliminar, levado a efeito pela abertura de um pequeno poço, confirmou os elementos anteriormente colhidos, mostrando estar-se na presença de um terreno compacto e homogéneo, constituído por argila azul dos Prazeres «in situ», o qual se encontrava coberto por uma pequena camada de aterro e de terra vegetal, resultante de uma terraplenagem localizada, certamente executada para arranjo do próprio quintal da antiga construção. Esta camada superficial será agora removida, a fim de permi-

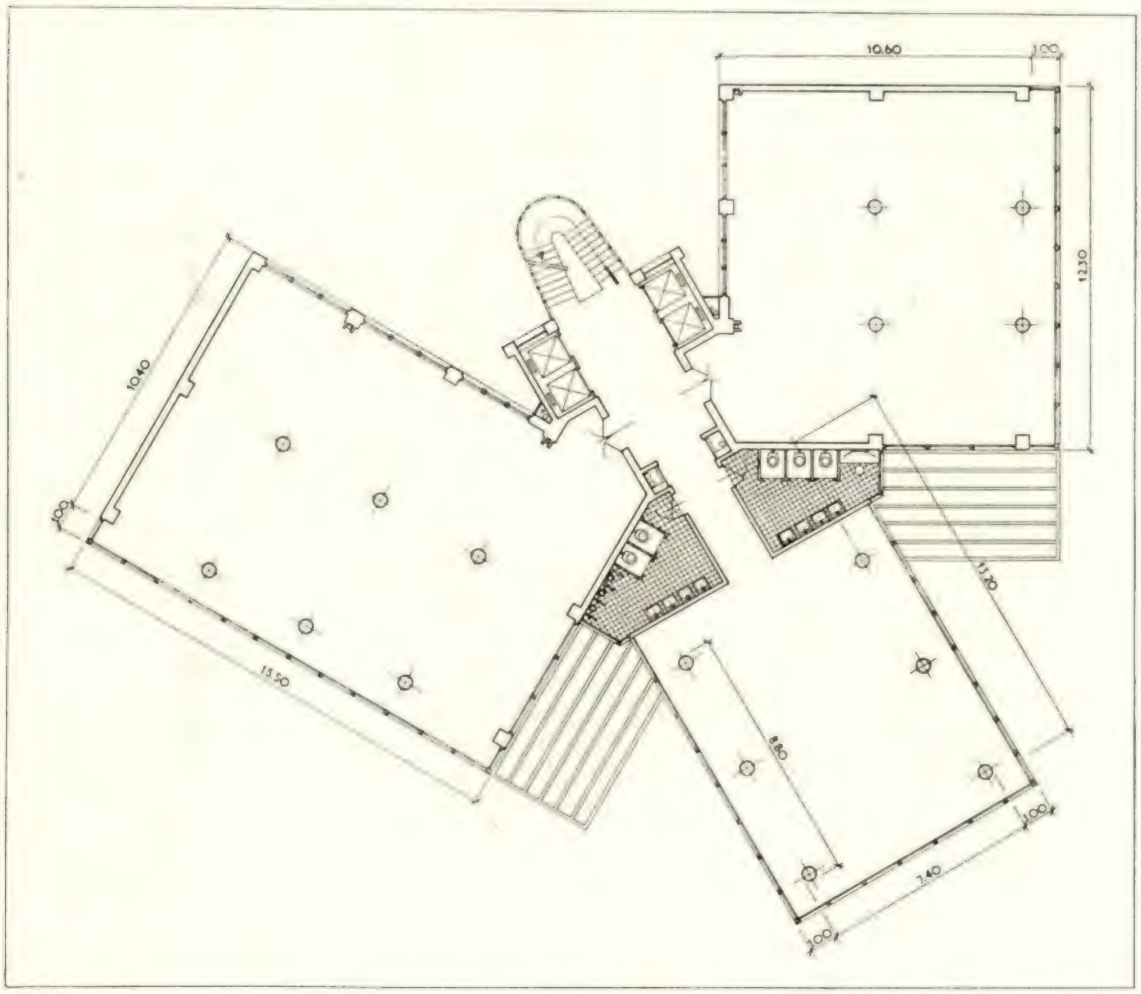


Fig. 7 — Planta comum aos vários pisos

([2]) Moradia de 4 pisos situada dentro de um jardim, a um nível um pouco superior ao dos arruamentos marginais.

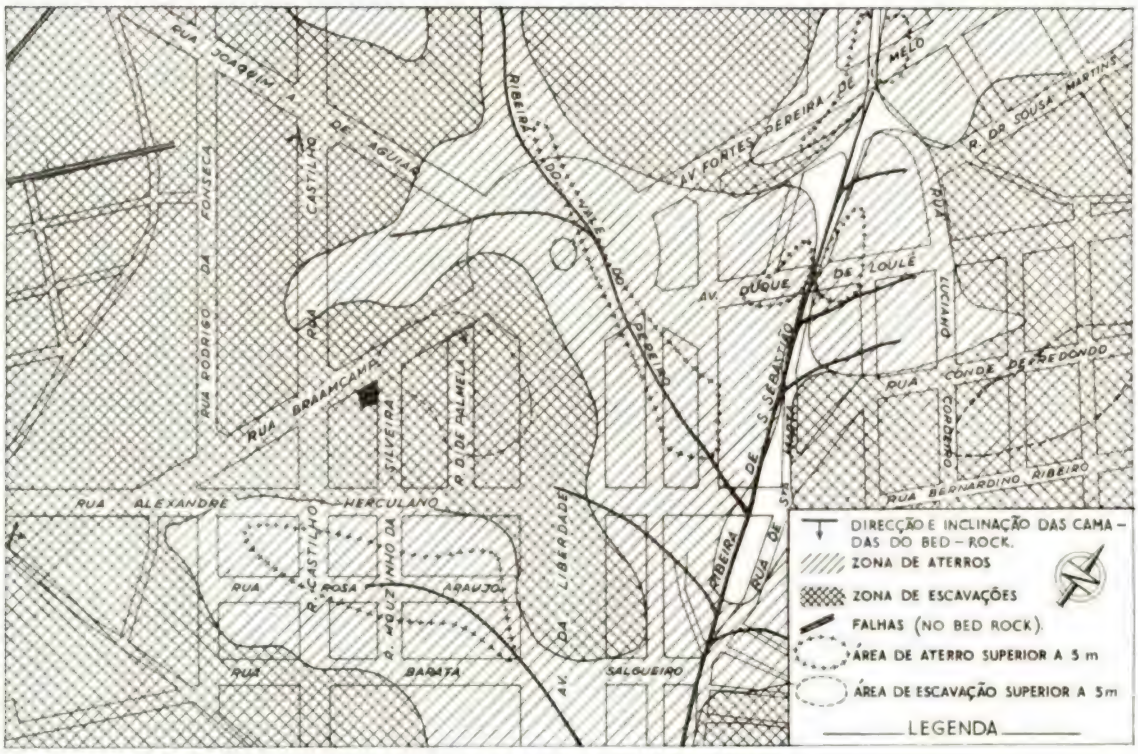


Fig. 8 — Esboço representativo das terraplenagens entre 1856 e 1935

tir a construção da cave, ficando todo o prédio directamente assente sobre as argilas.

São bem conhecidas entre nós as boas qualidades destas argilas, como terreno de fundação [1], razão porque se reconheceu ser neste caso desnecessário prever outras operações de prospecção, além da abertura do poço já citado.

Dadas as características do terreno, a sua compacidade e homogeneidade, as *fundações* dos diferentes pilares foram projectadas como sapatas isoladas, a construir pràticamente ao mesmo nível. Não serão de temer os assentamentos diferenciais, não só devido às características do solo, mas também ao tipo de construção adoptado que, como adiante veremos, é constituído por uma estrutura aporticada, com os pilares ligados, ao nível de todos os pisos do edifício, por reticulados de vigas com rigidez apreciável, que asse-

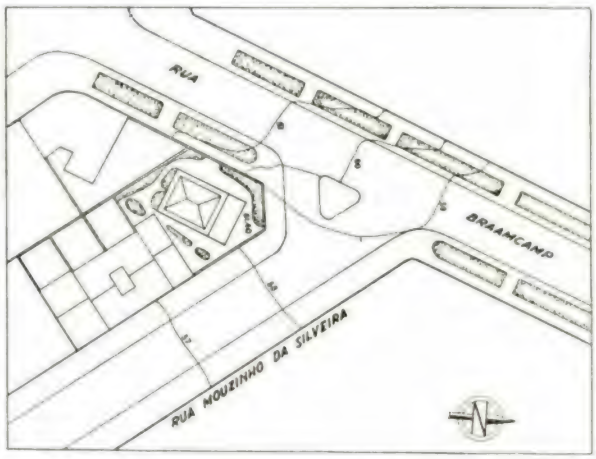


Fig. 9 — Planta de localização do edifício demolido

guram o conveniente travamento do conjunto, com uma correspondente possibilidade de absorção das tensões devidas a pequenos assentamentos diferenciais que porventura se possam verificar.

[1] A tensão de contacto considerada no cálculo das fundações não excedeu 3 kg/cm², embora possamos admitir tensões mais elevadas. Assim, para os valores $\varphi = 12{,}5^{\circ}$ $c = 1{,}0$ kg/cm², característicos deste tipo de solo, concluimos que teremos, para um coeficiente de segurança 3, no caso duma fundação contínua de largura $b = 1{,}0$ m à profundidade $h = 1{,}0$ m, e para o caso duma sapata quadrada de 2,0 m × 2,0 m, à profundidade $h = 1{,}0$ m, respectivamente: $q_1 = 4$ kg/cm², $q_2 = 5$ kg/cm², pelas expressões indicadas por Terzaghi

$$q_1 = c\,N_c + \gamma\,h\,N_q + 0{,}5\,\gamma\,b\,N_\gamma$$
$$q_2 = 1{,}3\,c\,N_c + \gamma\,h\,N_q + 0{,}4\,\gamma\,b\,N_\gamma$$

c) **Estrutura**

A estrutura projectada é constituída por reticulados contínuos de betão armado, cujos elementos horizontais e verticais apresentam secções e afastamentos que foram fixados tendo em atenção as sujeições de ordem arquitectónica. Os pavimentos dos diferentes pisos e a própria planta esta que se mantém igual em todos os andares. Para distinguir os pilares, as vigas e as lajes de cada andar, adoptou-se, como notação, representar os vários elementos pela respectiva letra inicial (P, V e L) tendo como índice o número de ordem correspondente, acrescido de um outro número, indicativo do andar respectivo ou que limita superiormente o troço de

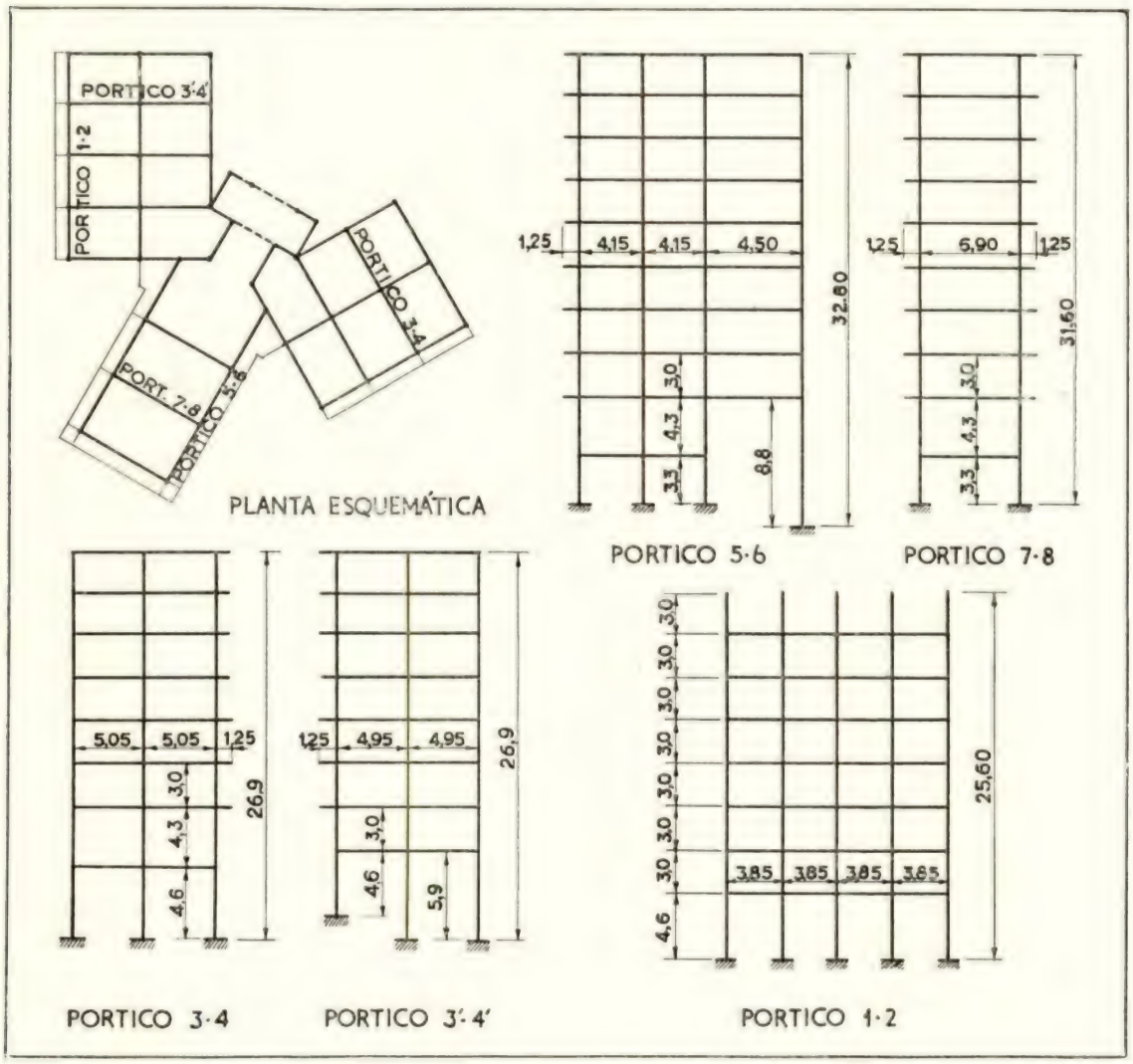


Fig. 10 — Esquema da estrutura do edifício

cobertura são constituídos por lajes gerais, também de betão armado.

Trata-se, pois, de uma estrutura com condições para resistir a efeitos horizontais devidos ao vento ou aos sismos, garantindo um perfeito travamento do conjunto.

Na figura 10, apresenta-se a planta esquemática dos diferentes elementos de betão armado, pilar considerado. Assim, por exemplo, a notação $P_{17.5}$ designa o troço do pilar P_{17}, situado logo abaixo do 6.º andar, isto é, entre o 5.º e o 6.º andares; a notação $V_{12.1}$ designa a viga V_{12} correspondente ao piso do 1.º andar e a notação $V_{12.7}$ designa a mesma viga referente ao piso do 7.º andar.

Interessa ainda referir que:

— as lajes dos pavimentos foram consideradas como lajes contínuas armadas em cruz; exceptuam-se as lajes junto à escada que, por virtude de disposições construtivas resultantes da sua implantação, se armaram num só sentido.
— as lajes dos terraços foram consideradas por forma a permitir livre dilatação, em relação às vigas em que se apoiam.
— os pórticos que constituem a estrutura do edifício foram agrupados nos seguintes tipos, conforme indica a fig. 10.

— *Corpos laterais:*

— pórticos longitudinais 1-2, respectivamente com 3 e com 4 vãos iguais;
— pórticos transversais 3-4 e 3'-4', com 2 vãos iguais e uma consola, num extremo, ao nível de cada andar;

— *Corpo central:*

— pórticos longitudinais 5-6, de 3 vãos iguais e uma consola num extremo.
— pórticos transversais 7-8, de um só vão e com uma consola, em cada extremo.

d) Cálculo do edifício à acção dos sismos

Apresentámos, no número 7, uma análise dos elementos fundamentais de alguns regulamentos estrangeiros, referindo a evolução verificada, nos últimos anos, no cálculo das estruturas à acção dos sismos.

No final dessa análise, e, por assim dizer como síntese de tudo o que nela se disse, apresentámos o parecer emitido por uma Comissão de membros da «American Society of Civil Engineers» publicado nos Proceedings de Abril de 1951, que tomámos, em parte, como base na elaboração do projecto do edifício.

Calcularam-se os diferentes pórticos pelo método de Cross, considerando-se as seguintes hipóteses de carga:

— peso próprio
— sobrecarga acidental cobrindo todos os vãos
— duas hipóteses de sobrecarga acidental cobrindo alternadamente os vãos
— esforços horizontais (vento ou abalos sísmicos).

O peso próprio, a sobrecarga total e as duas hipóteses de sobrecarga alternada não exigem qualquer referência especial.

Quanto ao vento, dada a implantação do edifício e a sua configuração em planta, apenas se entrou com a respectiva acção no corpo central (pórtico 7-8). Considerou-se uma pressão do vento de 80 kg/m², o que corresponde, segundo o regulamento holandês, a uma velocidade da ordem dos 130 km/h.

Quanto aos abalos sísmicos, entrou-se com a sua acção no cálculo dos diferentes pórticos, com excepção do pórtico 7-8, para o qual, de harmonia com o que se expôs anteriormente, se não considerou a actuação simultânea do vento e dos terramotos.

Assimilou-se, no cálculo, conforme foi referido, a acção dos sismos à de forças horizontais proporcionais à massa da construção $F = C\,P$.

Tomou-se para valor de «P» o das cargas permanentes acrescido de 25 % das sobrecargas acidentais, $P = p + \frac{1}{4}\,s$

Quanto às tensões de segurança do aço e do betão, mantiveram-se os valores fixados no R. B. A., dada a conveniência de se respeitarem no projecto esses valores. Este facto corresponde, aliás, como se disse, a uma maior segurança da obra em relação aos cálculos feitos ou, por outras palavras, a tomar de facto para o coeficiente sísmico um valor mais elevado do que aquele que se indica [1].

Finalmente, o valor de «C» foi calculado a partir do período próprio «T» de vibração da estrutura, $C = \frac{0{,}015}{T}$, supondo o valor de T dado pela expressão $T = \frac{0{,}09\,H}{\sqrt{b}}$, onde H é a altura e b a largura, ambas em metros. Como se disse, no caso da altura do edifício não ser constante, o valor a tomar para H, na expressão de T, é dado pela média ponderada dos valores de H em relação a b. Para achar esse valor

[1] Sendo o coeficiente de segurança um factor que cobre, entre outras incertezas, as devidas ao facto de não se atender, nas hipóteses de cálculo, a todas as solicitações que a estrutura pode vir a suportar, julga-se evidente que, à medida que no projecto estas solicitações vão sendo consideradas, deverão ser permitidos coeficientes de segurança mais baixos, daí resultando economia que compense o cuidado posto pelo engenheiro nos cálculos.

médio, projecta-se o edifício segundo um plano vertical paralelo à direcção considerada e divide-se a área projectada pela largura total b.

No nosso caso, o edifício compõe-se de 3 corpos — um central e dois laterais — cada um deles de planta rectangular com consolas laterais, com as quais se não entra no valor de b.

Calculando, para cada corpo, e para cada sentido, os valores de «T» e de «C» obter-se-á:

Corpo lateral da Rua Braancamp:

$$H = 26{,}90 \text{ m} \qquad b = 12{,}30 \text{ m}$$

$$T_1 = \frac{0{,}09 \times 26{,}90}{\sqrt{12.3}} = 0{,}69$$

$$C_1 = \frac{0{,}015}{0{,}69} = 0{,}022$$

$$H = 26{,}90 \text{ m} \qquad b = 10{,}60 \text{ m}$$

$$T_2 = \frac{0{,}09 \times 26{,}90}{\sqrt{10{,}6}} = 0{,}74$$

$$C_2 = \frac{0{,}015}{0{,}74} = 0{,}020$$

Corpo lateral da Rua Mousinho da Silveira:

$$H = 26{,}90 \text{ m} \qquad b = 15{,}50 \text{ m}$$

$$T_1 = \frac{0{,}09 \times 26{,}90}{\sqrt{15{,}5}} = 0{,}61$$

$$C_1 = \frac{0{,}015}{0{,}61} = 0{,}025$$

$$H = \frac{26{,}9 \times 5{,}2 + 25{,}6 \times 5{,}2}{10{,}4} = 26{,}2 \text{ m}$$

$$b = 10{,}40 \text{ m}$$

$$T_2 = \frac{0{,}09 \times 26{,}20}{\sqrt{10{,}4}} = 0{,}73$$

$$C_2 = \frac{0{,}015}{0{,}73} = 0{,}021$$

Corpo Central

$$H = 31{,}60 \text{ m} \qquad b = 7{,}40 \text{ m}$$

$$T_1 = \frac{0{,}09 \times 31{,}60}{\sqrt{7{,}4}} = 1{,}04$$

$$C_1 = \frac{0{,}015}{1{,}04} = 0{,}014$$

$$H = \frac{31{,}6 \times 8{,}8 + 32{,}8 \times 4{,}4}{13{,}2} = 32{,}00 \text{ m}$$

$$b = 13{,}20 \text{ m}$$

$$T_2 = \frac{0{,}09 \times 32{,}00}{\sqrt{13{,}2}} = 0{,}79$$

$$C_2 = \frac{0{,}015}{0{,}79} = 0{,}019$$

Em face dos resultados obtidos, e dado que não existe ainda entre nós qualquer regulamentação sobre a matéria, adoptou-se para «C» o valor constante de 0,020 para toda a estrutura, o qual corresponde à média dos vários valores calculados. É certo que este valor é o mínimo admitido na regulamentação estrangeira e pela própria Comissão atrás referida, embora esta considere uma distribuição não uniforme em altura, a que não atendemos. Ao adoptar aquele valor tivemos, também, presente o facto que citámos de não se ter até hoje observado, na Califórnia, em qualquer edifício ou estrutura calculada para forças correspondentes a este valor de C, destruições mais graves do que as verificadas em edifícios calculados para forças maiores.

Para dar uma ideia do projecto, sem alongar demasiadamente este trabalho, indica-se agora, a título de exemplo, a marcha geral do cálculo apenas para um dos pórticos da estrutura — o pórtico 1–2. No quadro I estão indicadas as características deste pórtico, e no quadro II as cargas que actuam em cada um dos elementos do pórtico.

Obteve-se a carga horizontal actuante ao nível de cada piso, somando o peso próprio dos pilares, situados acima desse piso, com as cargas devidas aos pavimentos existentes também acima do referido piso, e multiplicando por 0,02 a carga vertical assim obtida. As cargas devidas aos pavimentos incluem, como se disse, o peso próprio e 1/4 das sobrecargas. Os valores das forças horizontais a aplicar nos nós figuram na última coluna do quadro II.

Na fig. 11 representam-se os coeficientes de rigidez, relativos, dos diferentes elementos, os coeficientes de distribuição e as forças horizontais.

Como a estrutura é simétrica, apresenta-se apenas uma das suas metades, limitada pelos pilares centrais, cuja rigidez virtual será igual a metade do valor da rigidez real.

Os momentos locais junto aos nós dos pilares centrais terão também metade do valor dos momentos reais. No final das operações ter-se-ão

QUADRO I

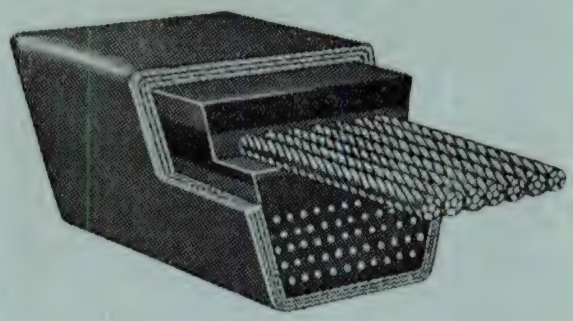
Cálculo da rigidez relativa dos elementos do pórtico I–2

Elementos	Secções (cm × cm)	I (cm^4)	L (cm)	I/L (cm^3)	I/L relativos
Pilares					
$P_{1.0}$ e $P_{5.0}$	pilares de secção quadrada 50 × 50	520.838	460	1.132	10,39
$P_{1.1}$ a $P_{1.5}$ $P_{5.1}$ a $P_{5.5}$	pilares de secção quadrada 50 × 50	520.838	300	1.736	15,93
$P_{2.0}$ $P_{3.0}$ $P_{4.0}$	pilares de secção quadrada 50 × 50	520.838	460	1.132	10,39
$P_{2.1}$ $P_{3.1}$ $P_{4.1}$	pilares de secção quadrada 50 × 50	520.838	300	1.736	15,93
$P_{2.2}$ a $P_{2.5}$ $P_{3.2}$ a $P_{3.5}$ $P_{4.2}$ a $P_{4.5}$	pilares de secção circular ø 50	306.796	300	1.023	9,39
$P_{1.6}$ e $P_{1.7}$ $P_{5.6}$ e $P_{5.7}$	pilares da secção quadrada 25 × 25	32.552	300	109	1,00
$P_{2.6}$ e $P_{2.7}$ $P_{3.6}$ e $P_{3.7}$ $P_{4.6}$ e $P_{4.7}$	pilares rectangulares com b = 30 h = 40	160.000	300	533	4,89
Vigas					
$V_{22.0}$ a $V_{25.0}$	Vigas L com b = 73, b_o = 50, e = 10, h = 70	1.624.248	385	4.219	38,71
$V_{22.1}$ a $V_{25.1}$ $V_{22.2}$ a $V_{25.2}$ $V_{22.3}$ a $V_{25.3}$ $V_{22.4}$ a $V_{25.4}$ $V_{22.5}$ a $V_{25.5}$	Vigas T com b = 110, b_o = 50, e = 10, h = 48	650.052	385	1.688	15,49
$V_{22.6}$ a $V_{25.6}$	Vigas T com b = 85, b_o = 25, e = 10, h = 50	426.120	385	1.107	10,16

Quando tiver uma transmissão difícil, use

GOODYEAR

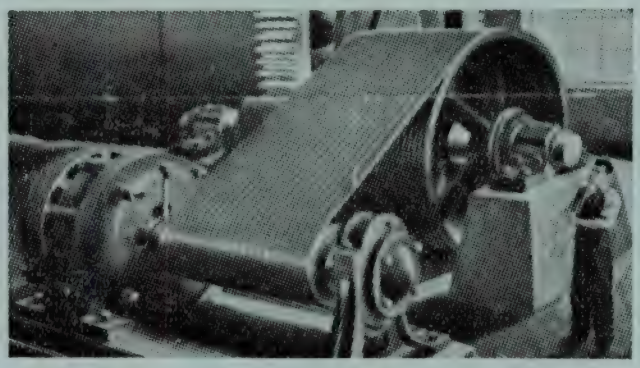
um tipo especial para cada serviço.



Quando tiver pequenas distâncias entre centros, grandes diferenças entre diâmetros, ou ambas as coisas, empregue correias **trapesoidais** sem-fim da

GOODYEAR

Para grandes potências use correias **trapesoidais** com cordas de aço.



Distribuidores exclusivos: **CANELAS & FIGUEIREDO, L.DA**

R. dos Fanqueiros, 46 — LISBOA

Telef. 2 5058 / 2 4502 / 2 1729

Teleg. **CANELASCO**

Corrente Contínua para a Indústria

RECTIFICADORES DE VAPOR DE MERCÚRIO

Projectados pelos engenheiros especialistas da BTH, e construidos por homens com longa experiência neste tipo de equipamento de conversão, os rectificadores BTH, pelo seu serviço eficiente e seguro alcançaram no mundo inteiro uma reputação sem igual.

A figura mostra parte de uma instalação de rectificadores em tanque de aço, sem bomba da União Fabril do Azoto-Alferrarede. Estes rectificadores alimentam dois conjuntos de células electroliticas de 15.000 amp. 600 volts que fornecem hidrogénio para produção de amónio.

Nas instalações da BTH, em Rugby, uma grande fábrica moderna dedica-se exclusivamente à produção de rectificadores de vapor de mercúrio, tanto de tanque de aço como de ampola de vidro.

HÁ UM RECTIFICADOR BTH PARA CADA FIM

THE
BRITISH THOMSON-HOUSTON
COMPANY LIMITED, RUGBY, ENGLAND

Member of the AEI group of companies

A4654

REPRESENTANTES GERAIS

GENERAL ELECTRIC PORTUGUESA

RUA DO NORTE, 5
LISBOA

RUA SÁ DA BANDEIRA, 585
PORTO

QUADRO II

Cargas actuantes nos elementos do pórtico 1-2

Pisos	Carga vertical nos pilares (kg)					Carga vertical por andar (kg)	Força horizontal correspondente (0,02 da carga vertical) (kg)	Forças horizontais aplicadas nos nós (kg)
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5			
6.º andar	4.511	7.726	7.726	7.726	4.511	32.200	—	—
5.º andar	10.172	17.758	17.758	17.758	10.172	105.818	2.116	$\left(32.200 + \frac{1}{2} \times 73.618\right) \times 0{,}02 = 1.380$
4.º andar	17.443	29.616	29.616	29.616	17.443	123.734	2.470	$\frac{2.470 - 2.116}{2} + 2.116 = 2.293$
3.º andar	24.710	41.473	41.473	41.473	24.710	173.839	3.470	$\frac{3.470 - 2.470}{2} + 2.470 = 2.970$
2.º andar	31.986	53.331	53.331	53.331	31.986	223.965	4.480	$\frac{4.480 - 3.470}{2} + 3.470 = 3.975$
1.º andar	39.257	65.188	65.188	65.188	39.257	274.078	5.480	$\frac{5.480 - 4.480}{2} + 4.480 = 4.980$
Sobreloja	46.528	77.431	77.431	77.431	46.528	325.349	6.500	$\frac{6.500 - 5.480}{2} + 5.480 = 5.990$
Loja	52.820	87.023	87.023	87.023	52.820	366.709	7.330	$\frac{7.330 - 6.500}{2} + 6.500 = 6.915$

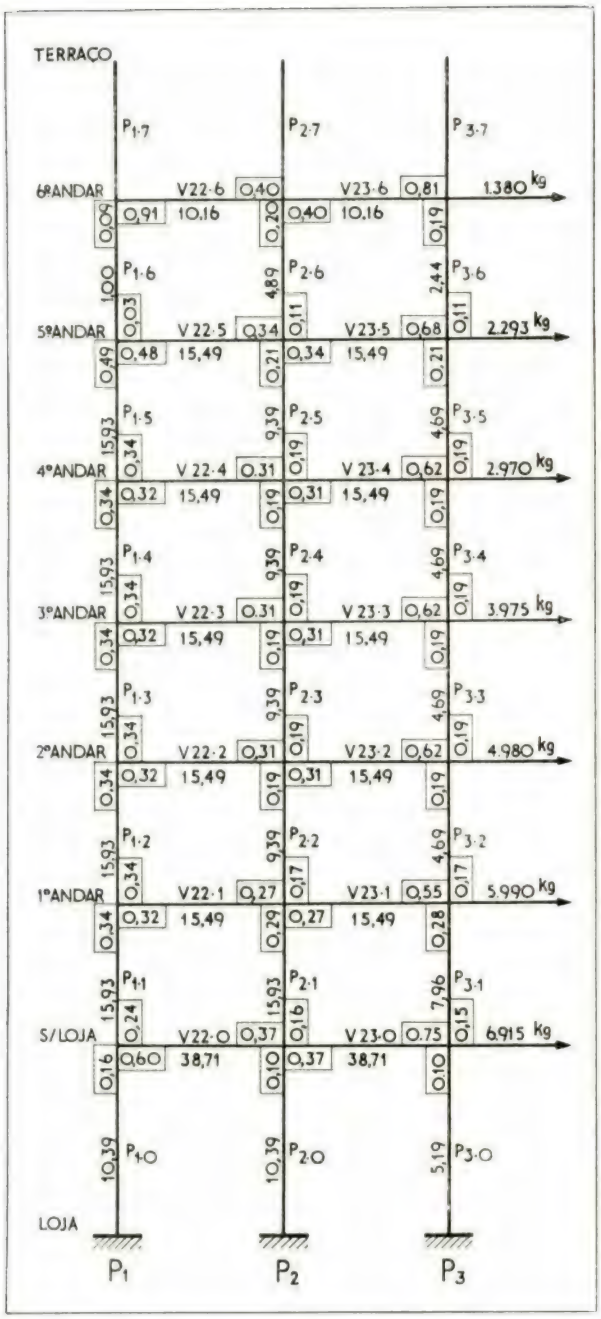


Fig. 11 — Coeficientes de rigidez relativos, coeficientes de distribuição e forças horizontais

que duplicar os valores obtidos para os momentos destes pilares centrais.

A partir destes elementos, calcularam-se, em seguida, pelo método indirecto, os momentos devidos aos deslocamentos laterais, obtendo-se o seguinte sistema de 7 equações a 7 incognitas que foi resolvido pelo método de Cross ([1]), em

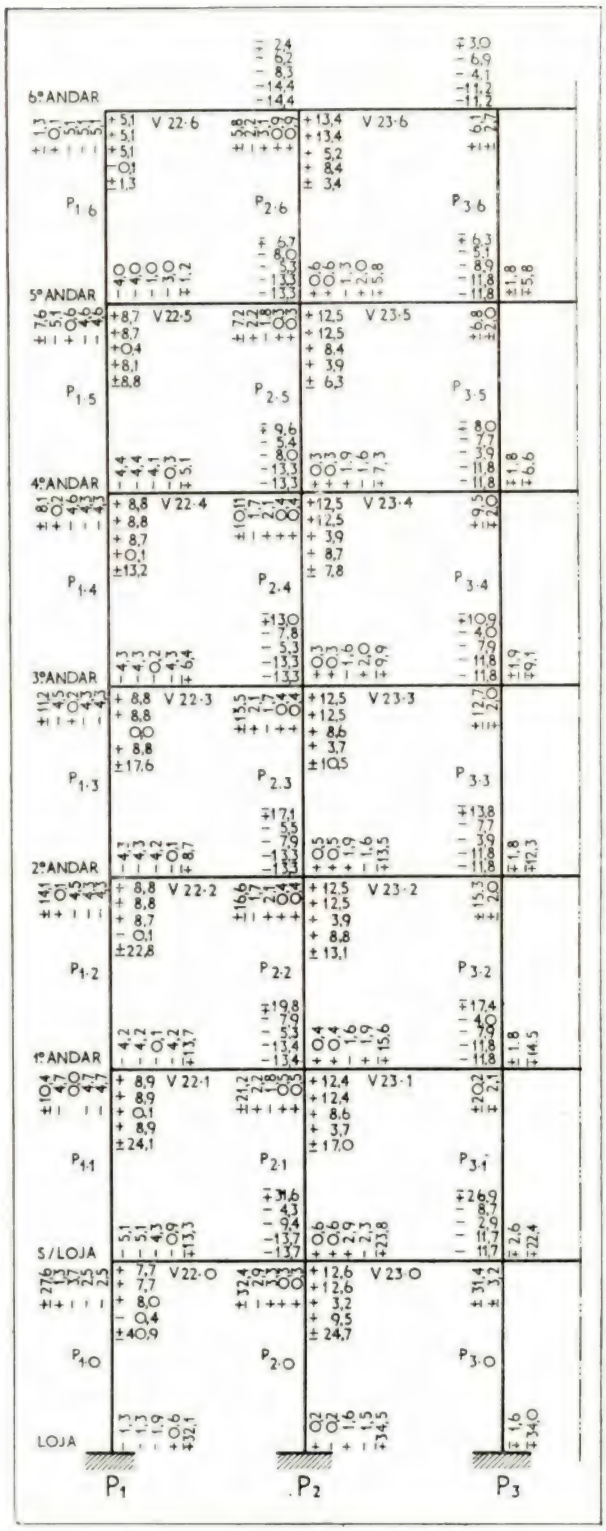


Fig. 12 — Momentos finais, em cada nó, para as diferentes hipóteses de carga

cerca de 4 horas, utilizando uma máquina manual de cálculo, em todas as operações.

([1]) J. Kostro e L. Borro — «Resolução de sistemas de equações lineares pelo método de Cross». *Técnica* n.º 230, Março 1953, pág. 365.

$$
\begin{cases}
287{,}7\,x_1 - 11{,}9\,x_2 + 0{,}6\,x_3 - 0{,}1\,x_4 = 20 \\
-37{,}2\,x_1 + 245{,}4\,x_2 - 48{,}0\,x_3 + 6{,}4\,x_4 - 1{,}0\,x_5 = 34 \\
2{,}1\,x_1 - 47{,}9\,x_2 + 259{,}0\,x_3 - 50{,}2\,x_4 + 7{,}0\,x_5 - 1{,}0\,x_6 = 44 \\
6{,}1\,x_2 - 50{,}6\,x_3 + 259{,}6\,x_4 - 50{,}4\,x_5 + 7{,}2\,x_6 - 0{,}7\,x_7 = 59 \\
-0{,}7\,x_2 + 6{,}8\,x_3 - 50{,}8\,x_4 + 261{,}1\,x_5 - 61{,}7\,x_6 + 5{,}4\,x_7 = 75 \\
-0{,}8\,x_3 + 7{,}6\,x_4 - 61{,}4\,x_5 + 361{,}6\,x_6 - 47{,}9\,x_7 = 90 \\
-0{,}6\,x_4 + 3{,}7\,x_5 - 31{,}5\,x_6 + 463{,}5\,x_7 = 159
\end{cases}
$$

tendo-se obtido

$x_1 = 0{,}077$ $\quad$ $x_4 = 0{,}349$

$x_2 = 0{,}194$ $\quad$ $x_5 = 0{,}427$

$x_3 = 0{,}262$ $\quad$ $x_6 = 0{,}363$

$x_7 = 0{,}365$

A partir destes valores, determinaram-se os momentos resultantes finais que se indicam na figura 12 (1) aos quais correspondem os diagramas indicados na fig. 13. Por último, conhecidos os momentos flectores, esforços transversos e esforços normais nas várias secções dos diferentes elementos, calcularam-se as respectivas dimensões e armaduras cujos valores figuram nos pormenores do respectivo pórtico (Ver figura 14).

e) Aspecto económico do problema

O custo total do prédio foi orçamentado em cerca de 6.000 contos, dos quais 1.100 contos competiam ao betão armado, distribuindo-se da forma seguinte:

Fundações, cerca de 300 m³ .	210 contos	
Lajes, cerca de 280 m³ . . .	210 »	
Escadas	20 »	440
Pilares, cerca de 250 m³ . . .	210 contos	
Vigas, cerca de 470 m³ . . .	450 »	660
Total		1100

Podemos portanto considerar, pelo que respeita ao betão armado, duas verbas distintas:

— uma verba fixa, visto não depender pràtica-

(1) Os momentos correspondentes às diferentes hipóteses de carga estão inscritos, a partir do respectivo elemento, pela seguinte ordem:
— carga permanente
— sobrecarga acidental cobrindo todos os vãos
— duas hipóteses de sobrecarga acidental cobrindo alternadamente os vãos
— forças horizontais, actuando da direita e da esquerda.

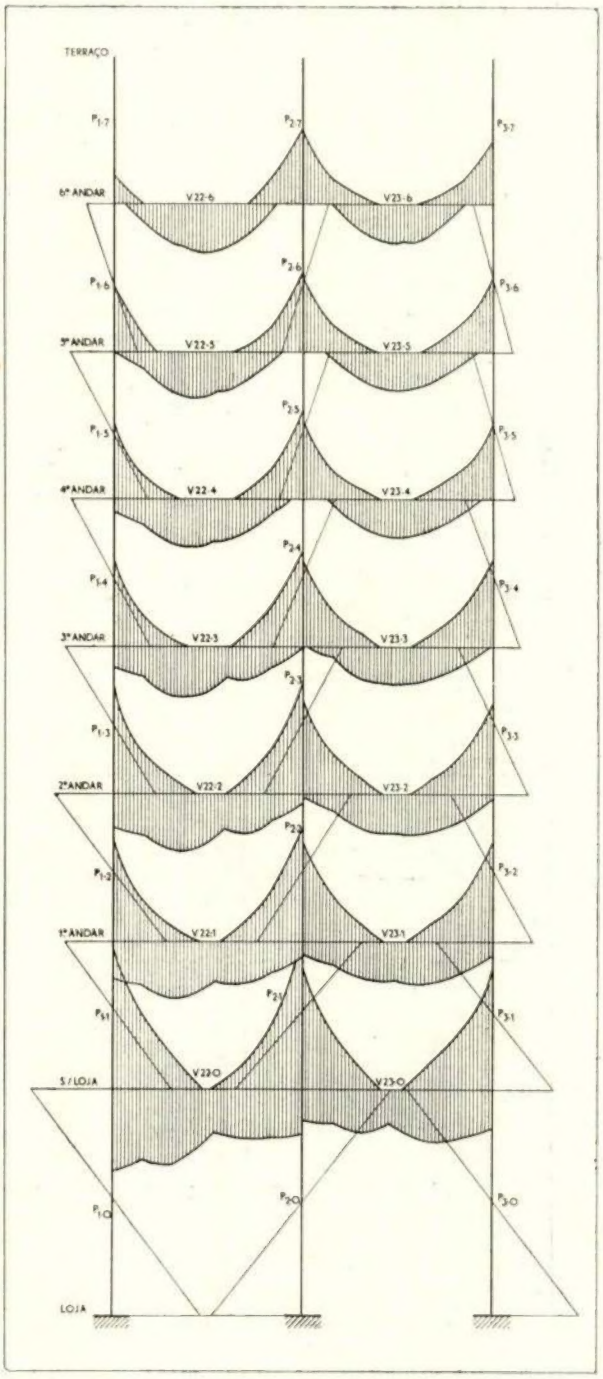


Fig. 13 — Momentos finais nos vários elementos do pórtico 1-2

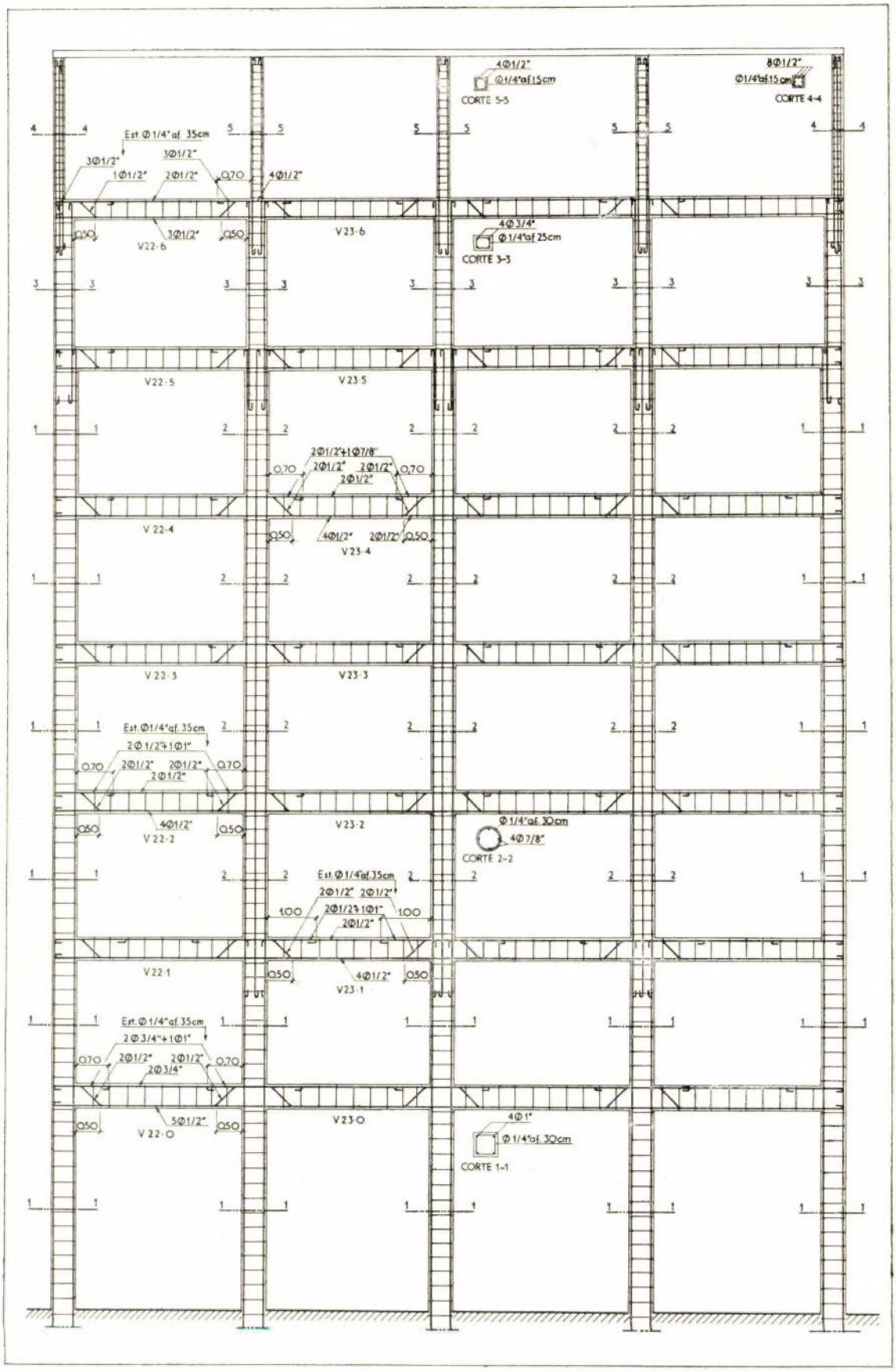


Fig. 14 – Pormenores de betão armado do pórtico 1–2

mente da consideração da sismicidade, e constituída pelas três primeiras parcelas acima referidas, no valor total de 440 contos;

— outra variável, consoante se considere ou não a acção dos sismos, no cálculo da estrutura, e constituída pelas duas últimas parcelas, no valor total de 660 contos.

No nosso caso, como de resto na maior parte dos problemas de construção civil, em que as secções dos elementos de betão armado são fixadas principalmente por motivos de ordem arquitectónica, a não consideração da sismicidade no cálculo das estruturas, traduz-se apenas numa economia da secção de ferro dos referidos elementos. Por outro lado, conforme se deduz da figura 12, verifica-se que esta variação da secção de ferro se faz sentir mais nìtidamente, apenas até meia altura do prédio.

Calculadas as secções das vigas e dos pilares correspondentes apenas às solicitações verticais, verificou-se que:

— para as vigas, haverá economia de ferro nas proximidades dos nós, até cerca de 1/4 do respectivo vão. Exceptuam-se as vigas do 1.º piso, por terem de ser armadas simètricamente ao longo de todo o vão, quando se atende à acção dos sismos;

— para os pilares, haverá uma economia de ferro, em parte da sua altura.

No total, verificou-se que a consideração da sismicidade, correspondia a um agravamento de custos equivalente à duplicação da secção de ferro: nas vigas, na zona correspondente a 1/2 do vão e nos pilares, em metade da sua altura, este último agravamento avaliado já com larga margem de segurança.

Admitindo uma percentagem média, em pilares e vigas, de ordem dos 200 kg de ferro por m^3 de betão, o agravamento de custo resultante da consideração da sismicidade será da ordem de:

Nas vigas:

$$\frac{1}{2} \times 470\ m^3 \times 200\ kg \times 4\$00 = 190 \text{ contos}$$

Nos pilares:

$$\frac{1}{2} \times 250\ m^3 \times 200\ kg \times 4\$00 = 100 \text{ contos}$$

$$\text{Total: } \sim 300 \text{ »}$$

ou seja, para os actuais preços elevados do aço de construção, uma percentagem da ordem dos:

5 % no custo total do prédio, isto é de 6.000 contos.

27,5 % no custo da estrutura, isto é de 1.100 contos.

O agravamento total do custo, expresso em percentagem, resultante da consideração dos efeitos sísmicos, depende naturalmente, nos vários países, dos valores regulamentares de «C», e das tensões de segurança admitidas nos cálculos. Depende também, e em larga medida, do custo relativo da estrutura e dos acabamentos.

Nos E. U. A., onde a mão de obra é muito cara, o aumento de custo duma estrutura metálica para um edifício anti-sísmico de 10-12 andares não chega a 10 %, o que representa menos de 1 % no custo total do prédio. No Japão, onde a mão de obra é barata, para o caso de edifícios até 30 m de altura, com estrutura de betão armado, o acréscimo de despesa em betão e ferro é de 40 %, o que representa um agravamento de 10 a 15 % no custo total do prédio (1).

No nosso caso, parece poder concluir-se com toda a segurança, e mesmo considerando efeitos sísmicos mais severos do que os que tomámos, que as despesas não deverão agravar em mais do que 5 a 10 % o custo das construções (2). Tal aumento, segundo se afigura, será largamente compensado pela certeza de que se não repetirão as destruições em larga escala nas nossas cidades situadas nas zonas sísmicas, nem se terão a lamentar as perdas de vidas, e de haveres particulares ou do património nacional, como ainda hoje estamos ameaçados de sofrer, se prosseguir o actual alheamento por tão importante assunto.

---

(1) Juan Kulik «La Ingenieria», Abril 1944, pág. 251 e Março 1946, pág. 198.

(2) É de notar que nesta avaliação considerámos, em ambos os casos, toda a estrutura calculada como contínua, adoptando as tensões normais de segurança regulamentares. Na prática é ainda hoje corrente entre nós projectar soluções menos económicas, em resultado de hipóteses arbitrárias simplificativâs que se introduzem no cálculo dos elementos que fazem parte das estruturas contínuas. Julga-se por isso que se o nosso regulamento de construção vier a fixar tensões de segurança superiores às actualmente consideradas — quando se prevê a actuação das sobrecargas anormais — conseguiremos construir edifícios anti-sísmicos sem qualquer acréscimo de custo, em relação aos actualmente projectados entre nós, que não oferecem segurança aos sismos.

9. Conclusões:

Cremos ter mostrado a importância da consideração do efeito dos sismos nas construções, a facilidade com que hoje o problema pode ser abordado pelo engenheiro ao projectar um edifício, e bem assim a sua franca viabilidade económica. Não podemos, porém, ficar por aqui. O problema reveste uma importância especial para a cidade de Lisboa, que se encontra situada numa zona particularmente sísmica, onde se registaram já grandes destruições em épocas passadas e que, a repetirem-se, serão agora mais graves, devido ao aumento da população e ao extraordinário incremento verificado na construção, com marcada tendência para os grandes edifícios.

Não se podendo aguardar que as entidades particulares se preocupem com o problema, impõe-se que se crie entre nós, sem demora, uma regulamentação apropriada que fixe as normas de elaboração e apresentação dos projectos e todas as outras disposições de ordem construtiva. Tal regulamentação, porém, não poderá certamente ser elaborada sem que se efectuem estudos experimentais que permitam definir a orientação mais conveniente a seguir, nomeadamente pelo que se refere a valores de C e coeficientes de segurança a adoptar nos cálculos.

Considera-se, por isso, da maior projecção que esses estudos se iniciem com brevidade, sendo lógico admitir, dado o interesse já demonstrado pelo problema quando do último Congresso das Capitais, efectuado em Lisboa no ano de 1950, que ao Município da nossa Capital agradará o retomar do assunto e iniciar o desenvolvimento daqueles estudos.